

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

**Fakulta strojní**

**Katedra výrobních systémů**

**Obor: výrobní systémy**

**Zaměření: Pružné výrobní systémy pro strojírenskou výrobu**

# **Analýza verifikace programů pro pětiosé obrábění**

KVS – VS – 137

**Monika Jirásková**

Vedoucí práce:  
Konzultant:

Doc. Ing. Přemysl Pokorný, CSc.  
Ing. Zbyněk Valoušek, Modelárna Liaz

Počet stran: 54  
Počet příloh: -  
Počet obrázků: 39  
Počet tabulek: -  
Počet modelů: -

Liberec, 23. května 2003

## **Téma: Analýza verifikace programů pro pětiosé obrábění**

### **Anotace:**

Cílem této práce je provést rozbor současného stavu v oblasti víceosého obrábění, zmapovat možnosti systému Vericut a následně vytvořit model stroje Rambaudi RAMSPEED H45L v tomto systému a ověřit jeho funkčnost verifikací vybraných programů pětiosého obrábění. Tento vytvořený model stroje bude využívat firma Modelárna Liaz.

## **Theme: Analysis of programs verification for multi-axes machining**

### **Annotation:**

The goal of this work is to create general overview about the present state in the area of multi-axes machining and map the utilization of system Vericut. Furthermore build up model of machine Rambaudi RAMSPEED H45L in this system and verificate its functionality by using selected programs for five axis machining. The created model will be used by company Modelarna Liaz s.r. o.

Desetinné třídění:

Klíčová slova: VERIFIKACE, VERICUT, OBRÁBĚNÍ

Zpracovatel: TU v Liberci, Fakulta strojní, Katedra výrobních systémů

Dokončeno: 2003

Archivní označení zprávy:

Počet stran: 54

Počet příloh: -

Počet obrázků: 39

Počet tabulek: -

Počet modelů: -

## **Prohlášení**

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 o autorském právu, zejména § 60 (školní dílo) a § 35 (o nevýdělečném užití díla k vnitřní potřebě školy).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé práce a prohlašuji, že souhlasím s případným užitím mé práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědoma toho, že užít své diplomové práce či poskytnout licenci k jinému využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

Datum: 23. května 2003

Podpis: .....  
Monika Jirásková

## **Místopřísežné prohlášení**

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury pod vedením vedoucího diplomové práce.

V Liberci 23. května 2003

Podpis: .....  
Monika Jirásková

## **Poděkování**

Úvodem této diplomové práce bych ráda poděkovala především vedoucímu Doc. Ing. P. Pokornému, CSc. a Ing. Z. Volouškovi za odborné vedení a cenné rady při řešení diplomové práce.

Dále děkuji kolektivu pracovníků Modelárny Liaz za podnětné připomínky, všestrannou pomoc a praktické rady při zpracování této práce.

# OBSAH

<b>1</b>	<b>Úvod .....</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Teoretická část .....</b>	<b>10</b>
2.1	Víceosé CNC obrábění forem .....	10
2.1.1	Význam pětiosých strojů .....	10
2.1.2	HSC obrábění .....	11
2.1.3	Porovnání tříosého a pětiosého frézování obecných tvarů .....	12
2.1.4	Strategie při programování pětiosého frézování povrchu forem .....	13
2.1.5	Nástroje pro frézování forem .....	13
2.1.6	Datová komunikace mezi CAD a CAM softwarem .....	15
2.2	Systém Pro/ENGINEER Vericut .....	16
2.2.1	Verification .....	18
2.2.2	OptiPath .....	20
2.2.3	Auto-DIFF .....	23
2.2.4	Model Export .....	25
2.2.5	Machine simulation .....	26
2.2.6	Multi-Axis .....	28
2.2.7	Advanced Machine Features .....	29
2.2.8	Machine Developer`s Kit .....	29
<b>3</b>	<b>Praktická část .....</b>	<b>30</b>
3.1	Příprava 3D modelu stroje Rambaudi RAMSPEED H45L .....	31
3.1.1	Model stroje a určení jeho kinematických vazeb .....	31
3.1.2	Nastavení stroje .....	36

3.1.3	Řídící systém stroje.....	39
3.2	Verifikace drah fiktivní součásti.....	40
3.2.1	Tabulka nástrojů .....	41
3.2.2	Verifikace.....	42
3.3	Kontrola podřezání a nedořezání .....	52
<b>4</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>53</b>

## Seznam použitých symbolů a zkratk

CAD - Computer Aided Design – počítačem podporované projektování

CAM - Computer Aided Manufacturing – počítačem podporované obrábění

CNC – Computerized Numerical Control – číslicové řízení počítačem

HSC - High Speed Cutting – vysokorychlostní obrábění

IGES – Initial Graphics Exchange Specifications – formát modelu

NC - Numerical Kontrol – číslicové řízení

STL - Stereolithography Tessellation Language – formát modelu

GM – G a M kódy v ISO formátu CNC

APT – Automatic Programming of Tooling – Automatické programování obrábění



# 1 Úvod

Víceosé obrábění se v současné době začíná stávat standardem. Většina kvalitních nástrojáren je k tomu tlačena především díky požadavkům průmyslu automobilového, ale i jiných, například průmyslu vyrábějícího elektroniku. Rozvoj víceosého obrábění je umožněn klesajícími cenami strojů, kvalitní a všem přístupnou technologií a také díky obrovskému zjednodušení této technologie.

Hlavním problémem při obrábění je počet potřebných upnutí obrobku. Při každém novém upnutí dochází totiž k drobným nepřesnostem, které mohou velmi výrazně ovlivnit konečnou geometrii obráběné součásti. Při pětiosém obrábění je tedy možné ve většině případů tento počet minimalizovat na jedno až dvě upnutí.

Vyvstává zde však řada dalších problémů, a to především v oblasti kolize nástroje, popřípadě některé části stroje, s obrobkem. U tvarově složitých součástí se často můžeme setkat s různými podkoso, nebo jinak špatně přístupnými místy. To vyžaduje například naklopení obráběcí hlavy, což může vést ke kolizi a tím i k poškození celého stroje.

Cílem této práce je provést rozbor víceosého obrábění a problematiky s tím spojené. Dalším úkolem je zmapovat možnosti softwaru Pro/ENGINEER Vericut. Výsledkem tohoto úsilí bude přizpůsobení tohoto softwaru pro kontrolu kolizí na stroji Rambaudi RAMSPEED H45L - vymodelování tohoto stroje a jeho kinematiky. Vlastníkem tohoto stroje je liberecká firma Modelárna LIAZ, která zpracovává řadu zakázek především pro automobilový průmysl a využití systému Vericut při verifikaci drah by pro ni mělo znamenat vyšší efektivitu a kvalitu výroby.

## 2 Teoretická část

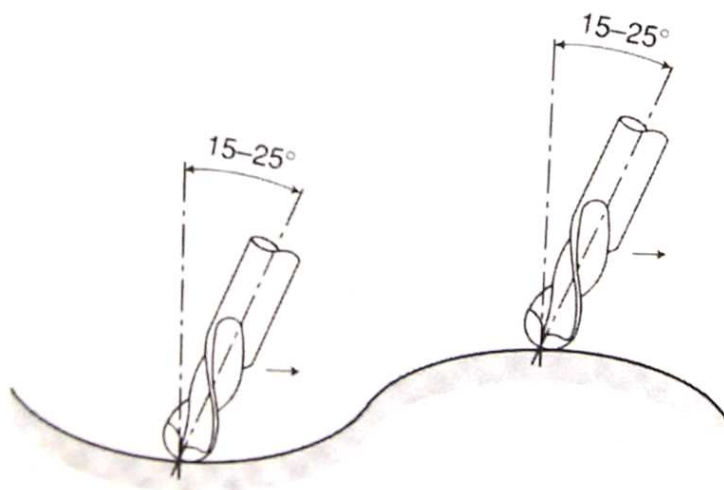
### 2.1 Víceosé CNC obrábění forem

#### 2.1.1 Význam pětiosých strojů

Víceosé obrábění má dnes největší vliv při hrubovacím a dokončovacím frézování litiny i oceli a při dokončování zápustek, forem a jiných tvarově složitých obrobků. Dokončovací frézování forem na tříosých i pětiosých strojích významně přispívá i k rozvoji celé řady ostatních „netřískových“ výrobních technologií, zejména tváření, lisování a zpracování výkovků, plechů a umělých hmot.

Stále častěji využívané aplikace HSC technologií vyžadují eliminaci frézování středovou partií nástroje, které znesnadňuje dosažení vysoké řezné rychlosti. U tvarově složitých povrchů forem lze tento problém řešit přibližně 20-ti stupňovým odklonem osy nástroje s kulovým koncem vzhledem k prostorové normále k povrchu v místě obrábění. To vede k použití pětiosého řízení i u poměrně jednoduchých obráběných tvarů [1].

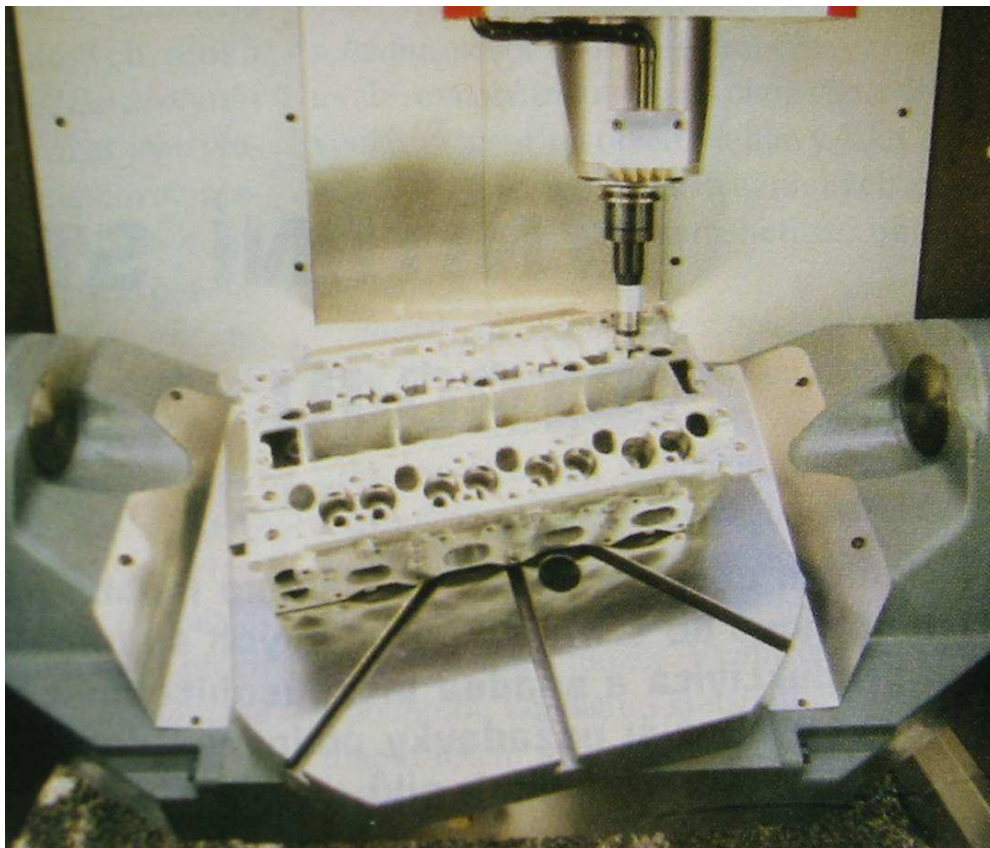
Odklon osy nástroje od normály k povrchu je znázorněn na obr. 1.



Obr. 1 Frézování při odklonění osy nástroje od normály k povrchu

Doplnění úhlových NC os A a B je možno realizovat natáčením vřetene, natáčením obrobku nebo rozdělením natáčení mezi vřeteno a obrobek. Realizace

dvouosého natáčení vřetene je účelná hlavně u strojů s velmi rozměrnými nebo protáhlými obrobky, jejichž umístění na otočném a sklopném stole není reálné. Gyroskopické efekty HSC vřeten ale spíš mluví pro dvouosé natáčení obrobku upnutého na otočném stole. Velmi se rozšiřuje koncepce otočného stolu uloženého ve sklopné „kolébce“, která je využitelná v kombinaci s vertikálním a horizontálním vřetenem. Příklad takové kolébky s otočným stolem je na obr. 2.



Obr. 2. Sklopná kolébka s otočným stolem

### **2.1.2 HSC obrábění**

Jedním z hlavních přínosů vysokorychlostního obrábění (HSC) je snížení výrobních nákladů zvýšením produktivity, zejména u dokončování a často i při obrábění kalených ocelí. Dalším cílem je zvýšení celkové konkurenceschopnosti zkrácením dodacích lhůt. To je možné zejména díky výrobě forem a zápusťek na několik málo

nebo dokonce jedno upnutí, zlepšení geometrické přesnosti formy nebo zápustky, což omezí potřebu dalších ručních prací a zkoušek [3].

Výhod HSC obrábění je mnoho, například nízká teplota řezného nástroje a obrobku v mnoha případech zvyšuje jejich životnost. Na druhou stranu při vysokorychlostním obrábění se využívají velmi mělké řezy a doba záběru je extrémně krátká. Nízké řezné síly způsobují menší a stálou výchylku nástroje. V kombinaci s úběrem stále stejně silné vrstvy materiálu nástroji určenými pro konkrétní operaci je to jeden z předpokladů vysoce produktivního a bezpečného procesu [3].

Je možné obrábět velmi tenké stěny s použitím sousměrného frézování. Doba kontaktu břitu s obrobkem musí být velmi krátká, aby nevznikaly vibrace a stěna obrobku se nevychylovala [3].

Některé z nevýhod jsou: vyšší zrychlení a zpomalení, rozběh a zastavení vřetena způsobují relativně vyšší opotřebení vodítek, kuličkových šroubů a ložisek vřetena, což často vede k vyšším nákladům na údržbu. Nouzové zastavení stroje prakticky nelze použít. Lidská chyba, chyby hardwaru nebo softwaru mohou mít závažné následky. Je třeba také zajistit dobré plánování práce a procesů a nutná bezpečnostní opatření. Stroj musí mít bezpečnostní kryt, nástroje, adaptéry a šrouby je třeba pravidelně kontrolovat na únavové trhliny [3].

### **2.1.3 Porovnání tříosého a pětiosého frézování obecných tvarů**

Řízený odklon osy nástroje s kulovým koncem od normály je u pětiosých strojů dobře využitelný u konvexních povrchů, kde je nebezpečí kolizí nástroje, držáku a vřetena s obrobkem sníženo. V konkávních dutinách, které se u forem vyskytují v mnohem větší míře, má tříosé obrábění nespornou výhodu jednoduššího programování, jelikož osa nástroje je kolmá k dělicí rovině a kolize jsou snadno předvídatelné. Při téměř kolmých stěnách dutin a ostrých koutech ovšem vede tříosý systém k prodlužování stopkových fréz při jejich velmi malém průměru a tím k redukování využitelného výkonu [1].

Programování dráhy nástroje v pěti osách X, Y, Z, A, B je mnohem obtížnější a nesnadná je i automatická verifikace proti nebezpečí kolizí.

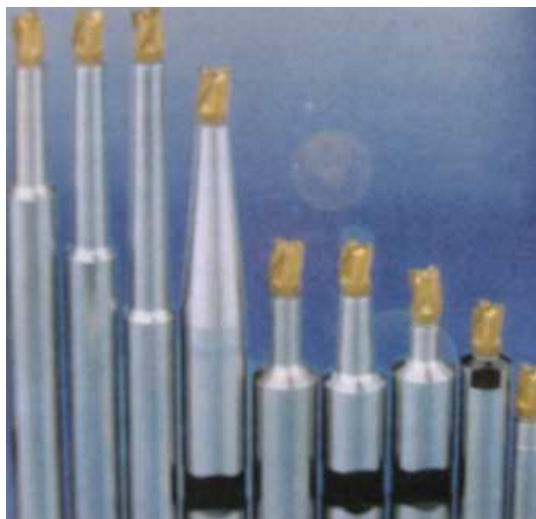
## **2.1.4 Strategie při programování pětiosého frézování povrchu forem**

Pro dosažení co nejlepšího povrchu a úplné dokončení konkávních tvarů je nutno volit až čtyři fáze: předfrézování, předdokončení, dokončení a dodatečné opracování nepřístupných míst. Úkolem předfrézování je odstranění většiny materiálu - nejčastěji stopkovou frézou s kulovým koncem. Úkolem předdokončení je srovnat všechny výstupky a odebrat materiál v koutech povrchu obvodovým frézováním. K dosažení nejvyšší kvality a přesnosti povrchu má dokončovací obrábění probíhat s minimálním a konstantním přídkem, sousledným obvodovým frézováním nástrojem odkloněným asi 20 stupňů od normály. Průměr nástroje se volí tak, aby jím bylo možno obrobit bez výměny celý povrch s případným nedokončením výjimečně nepřístupných míst.

Pro dodatečné opracování nepřístupných míst je třeba volit speciální postup, například nástroj ještě menšího průměru nebo speciálního tvaru. Při nejvyšších požadavcích na kvalitu povrchu se vyfrézuje konvexní grafitová elektroda pro elektrojiskrové zahlubování. Jelikož ve výrobě forem jde většinou o výrobu jednoho nebo dvou kusů, je žádoucí se výrobě elektrody a elektrojiskrovému dokončení vyhnout.

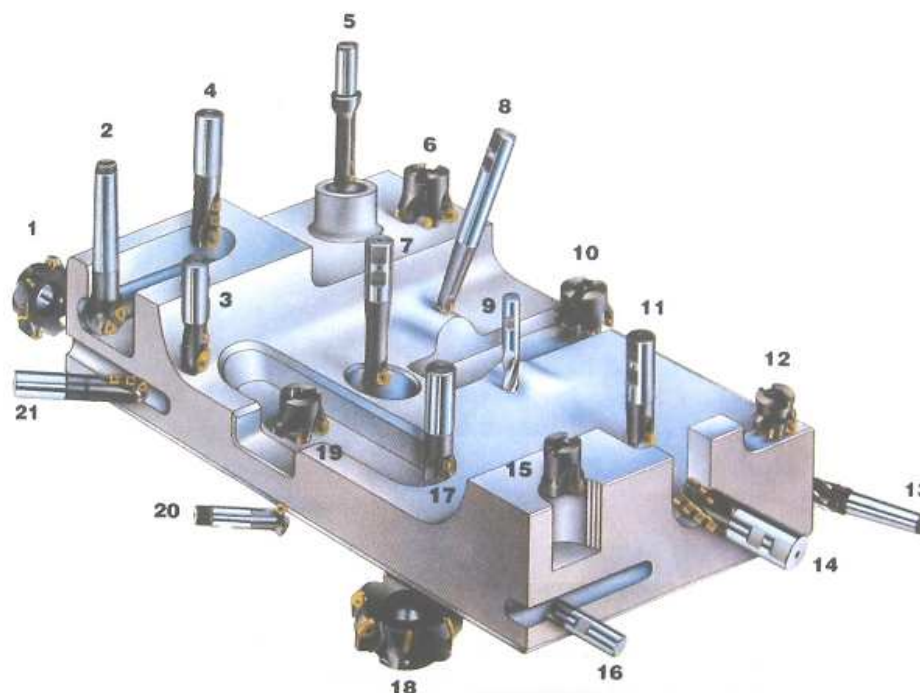
## **2.1.5 Nástroje pro frézování forem**

Pro dokončování funkčních, většinou zcela obecných ploch forem jsou užívány frézovací nástroje s kulovým koncem. Pro dokončování konkávních hran a koutů potřebujeme minimální zaoblení špiček a při větších hloubkách i kuželové nástavce, které jsou ukázány na obr. 3.



Obr. 3 Frézy na kuželových držácích

Formy mají ovšem nejen obecné tvary vlastních funkčních ploch, ale i pravoúhlé tvary, otvory a drážky. Běžně užívané nástroje pro tyto prvky jsou zobrazeny na obr. 4.



Obr. 4 Souhrn běžně užívaných fréz ( 1 – rovinné frézy, 2 – hrubovací kulové frézy, 3 a 4 – stopkové frézy s kulovým a „anuloidním“ koncem, 5 – vrtáky, 6 – kopírovací „anuloidní“ frézy s kruhovými břitovými destičkami, 7 a 8 – kopírovací kuželové frézy,

9 – celokarbidové kopírovací frézy, 10, 11 a 12 – rovinné a rohové frézy, 13 – frézy Heli s pájenými břity, 14 – ježkové frézy, 15 – ponorné frézy, 16 – kuželové frézy za tepla upínané, 17 – vrtací drážkové frézy, 18 – frézy s pevným lůžkem, 19 – oktagonální frézy, 20 – frézy na srážení hran, 21 – kulové frézy

## **2.1.6      Datová komunikace mezi CAD a CAM softwarem**

Technologickou přípravu výroby zejména pro CNC řízenou výrobní techniku si dnes již nelze představit bez výpočetní techniky a rozmanité palety různého softwaru. Zejména různé simulační a optimalizační programy nebývale urychlují, zkvalitňují, ale i zlevňují návrh postupů jednotných technologií a zpřesňují výběr technologických parametrů. To pak pochopitelně přináší zefektivnění celé výroby. Současné možnosti přenosu 3D dat umožňují i menším firmám využívat služeb specializovaných pracovišť, která se zabývají řešením jednotlivých technologických problémů při návrhu postupu výroby. Problém, který však přetrvává, souvisí s načítáním digitálních dat modelů. Pokud se už model podaří načíst, výsledek nemusí být přijatelný. Vždyť snad u každého překladáře existuje řada nastavení, která ovlivňují rychlost a kvalitu, s níž lze model exportovat a importovat do jiného softwaru [2].

Řešit problematiku přenosu dat 3D modelů lze pochopitelně různými způsoby:

- zadáním převodu dat specializované firmě
- převodem dat pomocí obecných výměnných formátů (obvykle IGES)
- využitím různých utilit pro převod dat
- přímým převodem dat pomocí specializovaného rozhraní či modulu pro přenos dat mezi dvěma konkrétními aplikacemi [2]

Každá z těchto metod nachází své uplatnění a každá má své pro a proti. Na jedné straně přitom stojí požadavek na maximální operativnost a rychlost přenosu, na druhé straně finanční stránka věci [2].

## 2.2 Systém Pro/ENGINEER Vericut

Vericut je systém provádějící verifikaci NC dat a optimalizaci odebrání materiálu. V porovnání s tradiční kontrolou dat může systém Vericut značně zredukovat čas potřebný k verifikaci. Program také optimalizuje rychlost posuvu v jednotlivých krocích, což vede k vyšší efektivitě využití stroje.

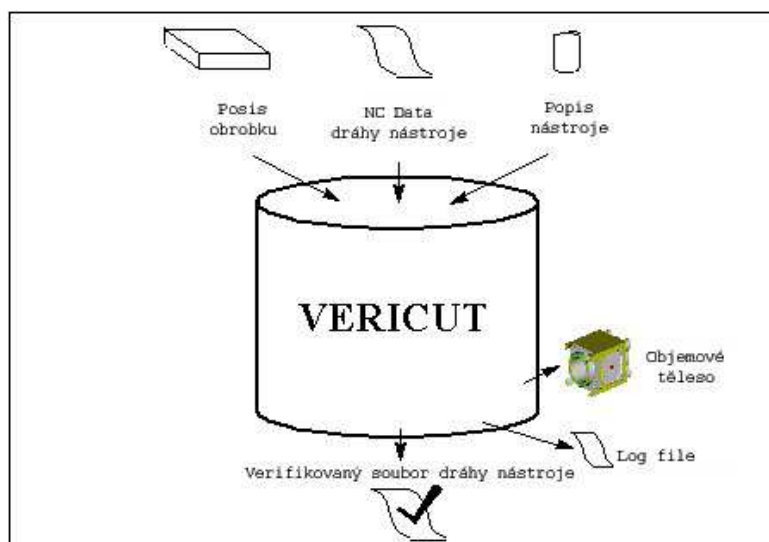
Software Vericut je rozčleněn do několika sekcí jak je znázorněno na obr. 5. Základem celého systému Vericut je aplikace *Verification*, kterou je možné doplnit dalšími moduly jako jsou: *OptiPath* – optimalizace dráhy, *Model Export* – export modelů, *Machine Simulation* – simulace stroje, *Multi-Axis* – víceosé obrábění, *AUTO-DIFF* – automatické zjišťování rozdílů modelů, *Advanced Machined Features* – nadstandardní vlastnosti, *Machine Developer's Kit* – vývojová stavba stroje. Jednotlivé aplikace jsou podrobněji popsány níže.



Obr. 5 Rozčlenění systému Vericut

Princip funkce systému Vericut je znázorněn na obr. 6. Jako vstup používá systém Vericut data dráhy nástroje generované v CAD/CAM systému (GM kód, APT soubor, ...), popis obrobku (materiál, rozměry) a nástrojů použitých při obrábění (definování řezné a neřezné části nástroje, materiálu nástroje). Výstupem je pak přesný model obrobené součásti, verifikovaný soubor dráhy nástroje a Log file, ve kterém jsou zapsány detekované chyby při simulaci.



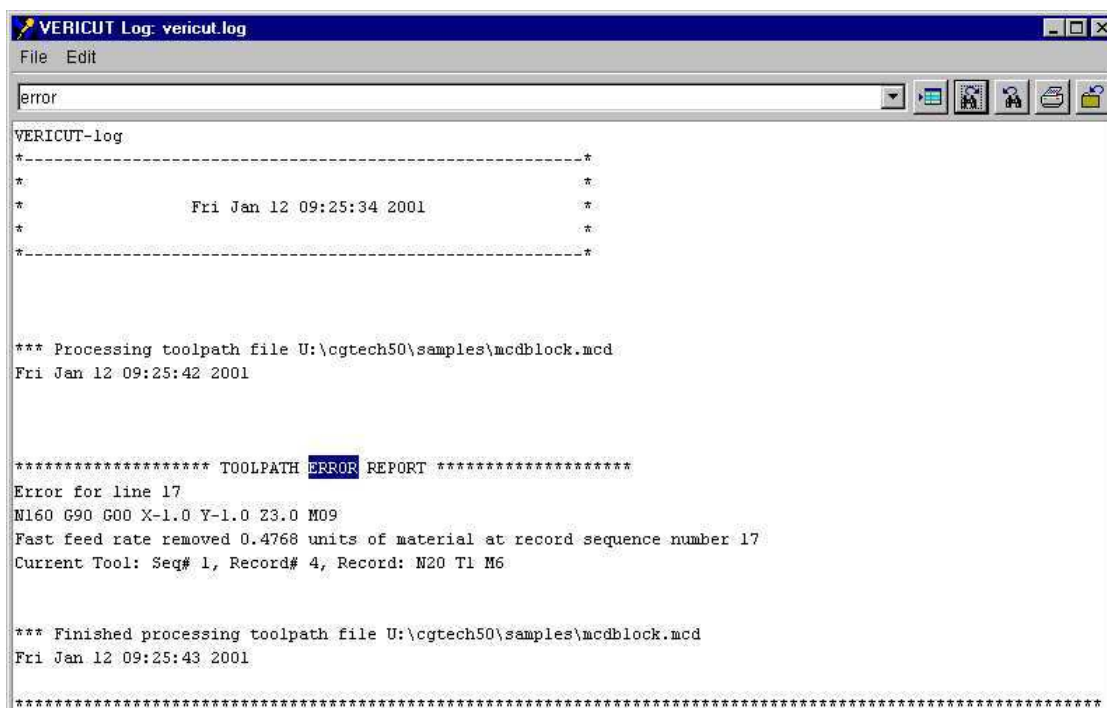


Obr. 6 Proces verifikace dráhy nástroje v systému Vericut

Příklad, kdy systém Vericut detekuje chybu (při rychloposuvu dojde ke kontaktu nástroje s obrobkem), je uveden na obr. 7. Na obr. 8 je Log File, ve kterém můžeme nalézt hlášení o této chybě. Ve výpisu lze nalézt číslo řádku, na němž došlo k chybě, dále příkaz který je na tom konkrétním řádku a stručný popis dané chyby.



Obr. 7 Detekovaná chyba odebírání materiálu na nežádoucím místě způsobená výjezdem nástroje rychloposuvem



Obr. 8 Část Log File související s uvedenou chybou

## 2.2.1 Verification

*Verification* je základní aplikací softwaru Vericut. Umožňuje simulaci a verifikaci víceosých operací a zachycení chyb programů pro NC stroje:

- kontakt nástroje s obrobkem při rychloposuvu
- nepřesné programování
- nepřesně definované dráhy nástroje
- kolize nástroje s upínkami
- překročení rozsahů stroje v jednotlivých osách
- kolize stopky a držáku nástroje s obrobkem
- nesprávně přečtený výkres
- chyby postprocesoru

Vericut umožňuje dva přístupy náhledu: z pozice obrobku a z pozice stroje. Pozice obrobku interaktivně zobrazuje odstraňovaný materiál a nástroj, obráběný kus a upínky. Pozice stroje ukazuje celý CNC stroj s celkovým obráběcím okolím včetně obráběného modelu. Základní licence verifikace podporuje náhled na obrobek, pro

náhled na činnost stroje je třeba tuto licenci doplnit aplikací *Machine Simulation*. S aplikací *Verification* lze provádět:

- 1) Analýzu 3D modelů – umožňuje posouvat, zvětšovat a zmenšovat, zrcadlit a otáčet model v jakékoli fázi řezného procesu. Je možné také vytvářet řezy při jakkoli orientovaném modelu. Aplikace umožňuje tvorbu částečně průhledného modelu – kontrola modelových prvků neviditelných při manipulaci s modelem (průnik vrtaných děr,...). Aplikace X-Caliper je porovnávací funkcí umožňující srovnávat předdefinované objemy, tloušťky, zápichy, vzdálenosti, úhly, průměry děr, poloměry, výšku vlny a otřepy. Aplikace zahrnuje i měřicí komponenty delta X, Y, Z.
- 2) Simulaci obrábění – umožňuje přesně simulovat proces odstraňování materiálu za použití přesně definovaného nástroje s korespondující částí CNC stroje. Vericut obsahuje knihovnu standardních řezných nástrojů společnosti Ingersoll Cutting Tool Company. Je také možné definovat si svoje vlastní řezné nástroje. Vericut je schopen pracovat i s moderními řeznými nástroji, které mají vloženy konkávní řezné destičky uchycované necentricky. Tyto nástroje, ač vyvinuty k odebírání velkých objemů materiálu za vysokých řezných rychlostí při dvourozměrném obrábění, jsou často používány i k rampování (tzn. postupné vnikání nástroje do obráběného materiálu pod malým úhlem). Je-li úhel, pod kterým vniká nástroj do materiálu příliš ostrý, neřezná (středová) část nástroje koliduje s materiálem, což může vést ke zničení nástroje nebo obrobku. Vericut umožňuje přesně definovat řeznou i neřeznou část nástroje a využít tak plně technického vybavení bez obavy z destrukce obrobku nebo nástroje kvůli nevhodnému „rampování“.
- 3) FastMill – tato aplikace je určena ke zrychlení kontroly průběhu velkých NC programů a je s výhodou užívána zejména výrobci forem. Ze standardního simulačního režimu lze přecházet do režimu FastMill, kde je možno kompletně sledovat řeznou rychlost, přesnost a kvalitu modelu. Přesnost je určována nezávisle na zobrazení a umožňuje vytvořit vysoce přesný model, pro rychlé zpracování jej zobrazit s nižším rozlišením a pro detailní rozbor jej zobrazit s vysokým rozlišením. Aplikace používá stejné výpočtové principy jako základní režim Vericut. Není jeho náhradou, ale pouze jeho doplňkem.
- 4) Převod NC dat – postprocesor systému Vericut umožňuje převod dat ze všech stávajících CAM systémů.

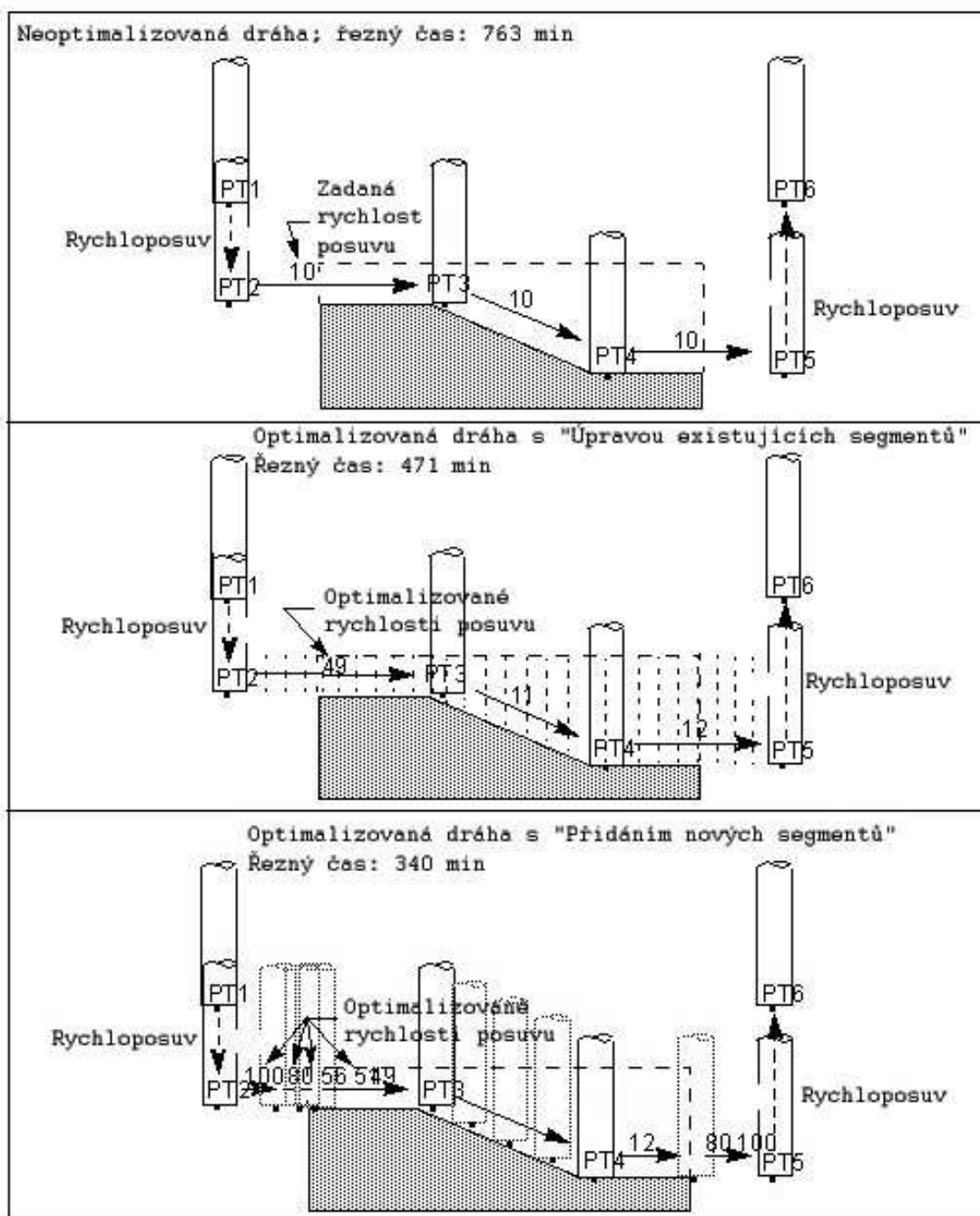
## 2.2.2 OptiPath

Aplikace *OptiPath* automaticky upravuje rychlost posuvu, která je dána řeznými podmínkami a množstvím odebíraného materiálu. Využívání *OptiPath* může výrazně zkrátit strojní čas potřebný k obrobení součásti a tím také zvýšit produktivitu NC stroje.

Při současném stavu znalostí o výběru řezných nástrojů, materiálů a softwarů automaticky generujících dráhu nástroje vzrůstá potřeba přesného stanovení posuvu pro každý specifický nástroj a řezné podmínky jemu příslušející. Špatný odhad rychlosti často způsobí řadu problémů - např.: zlomení nástroje, poškození obráběcí hlavy, špatný povrch součásti, atd. Dalším problémem je, že rychlost posuvu navrhuje programátor, který obvykle používá jeden či dva konzervativní posuvy, jež jsou kompromisem mezi životností nástroje, časem potřebným k obrobení součásti a horšími řeznými podmínkami.

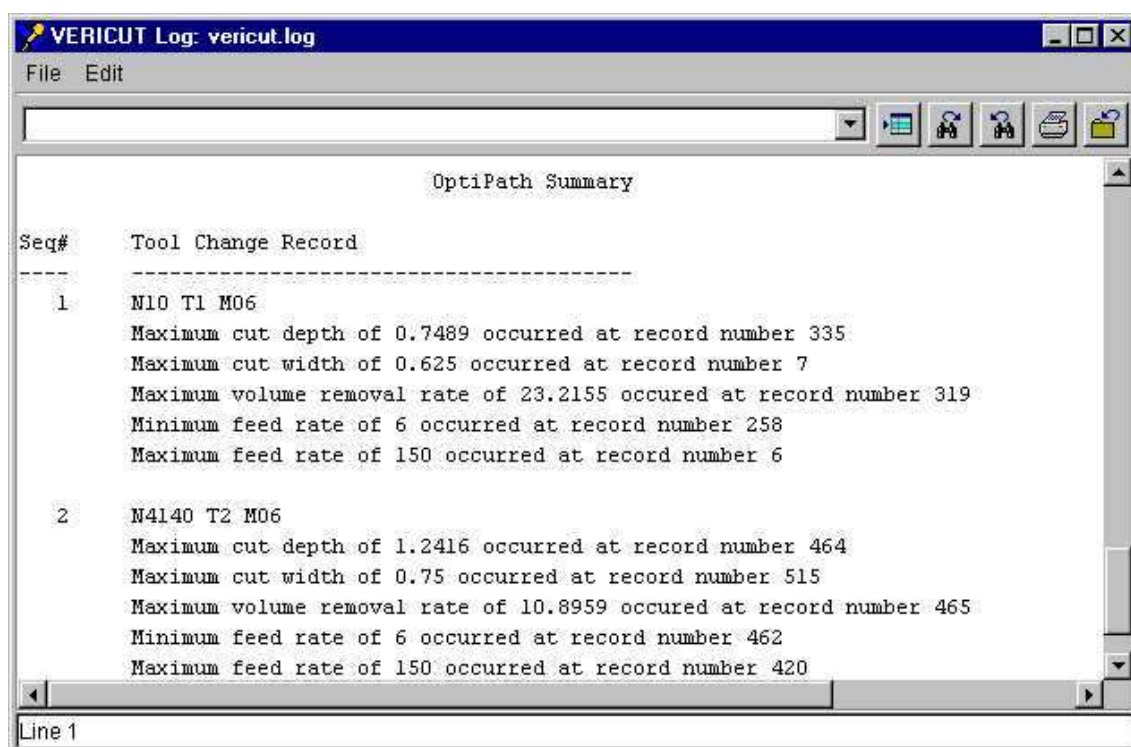
CAM software obecně nepovažuje množství odebíraného materiálu za informaci nutnou pro stanovení optimálního posuvu. Mnoho CAM systémů není využíváno v celém svém rozsahu. Snaží se zjednodušovat komplexní obrábění do jednoduchých kroků, proces obrábění má pak omezenou efektivitu, strojní čas je prodlžován zbytečným pohybem řezných nástrojů nad obrobkem bez úběru třísky. Výsledkem špatné optimalizace často bývá velmi dlouhá doba obrábění, špatný povrch obrobku, snížená životnost nástroje a zvýšený počet zničených nástrojů.

Aplikace *OptiPath* výše zmíněné problémy do vysoké míry odstraňuje. Aplikace *OptiPath* je schopna přečíst soubor vygenerované NC dráhy nástroje a rozdělit pohyb do mnoha malých segmentů. V každém segmentu vyhodnotí množství odebíraného materiálu vzhledem k relativní poloze nástroje a podle toho upraví posuv. Celkovým výsledkem je nová dráha nástroje, která má stejnou trajektorii jako dráha původní, ale odlišné rychlosti posuvu. Princip aplikace *OptiPath* je naznačen na obr. 9. V první části obrázku je neoptimalizovaná část dráhy nástroje, ve druhé části je znázorněno využití aplikace *OptiPath* tím způsobem, že se pouze modifikuje rychlost posuvu v již daných segmentech. Ve třetí části obrázku je znázorněna modifikace rozdělením dráhy mezi více segmentů.



Obr. 9 Princip OptiPath

Po proběhlé optimalizaci se její výsledky zapíší do souboru Log file, kde můžeme zjistit maximální a minimální hodnoty různých parametrů upravovaných optimalizací. Příklad takového souboru je na obr. 10.



Obr. 10 Log file s hodnotami optimalizace

Pro určitý materiál a metodu obrábění se hodí odlišná technika optimalizace:

1) Hrubování - při rovinném hrubování je materiál odebírán konstantní hloubkou, ale šířka se u jednotlivých řezů mění. Cílem je odebrání co největšího množství materiálu v co nejkratším čase. Odebíráním konstantního objemu materiálu je zabezpečeno maximální využití nástroje. Využitím informací získaných verifikací dráhy nástroje je software schopen určit množství materiálu odebíraného v každém segmentu dráhy nástroje.

2) Dokončování - pro odebírání materiálu při dokončování je charakteristické, že se velmi výrazně mění zatížení při pohybu nástroje přes kontury obrobku vzniklé po hrubování. Software pak vezme v úvahu, kde je materiál v kontaktu s nástrojem a vyrovnává rychlost posuvu při zachování konstantního průřezu třísky. Výsledkem této optimalizace je tedy vyšší životnost nástroje a především lepší kvalita obrobené plochy.

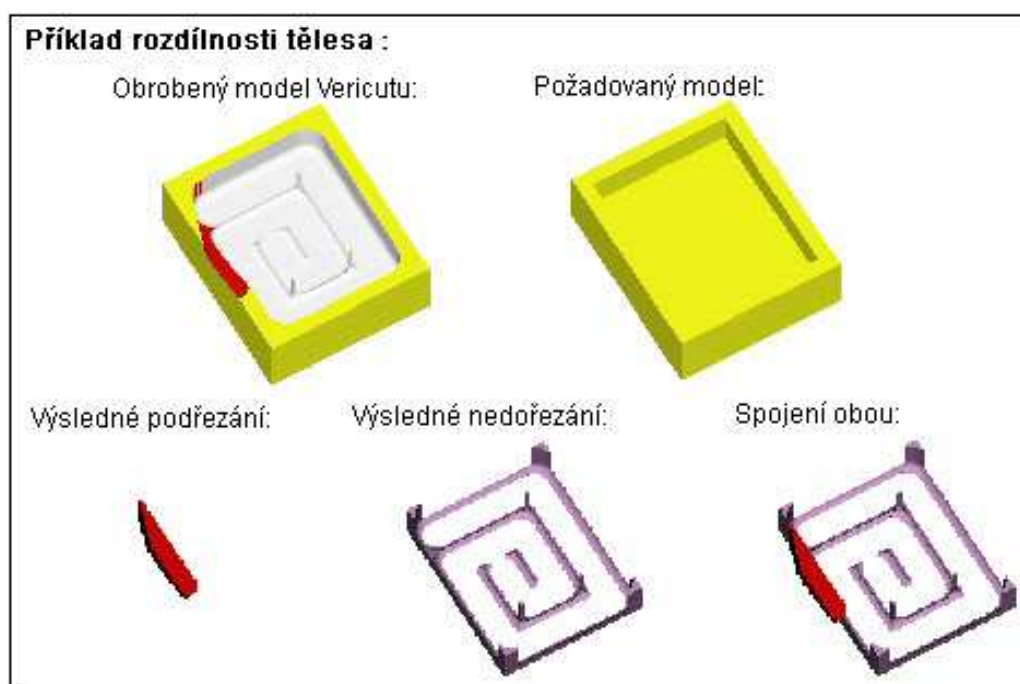
Optimalizace je vhodná i pro rychlostní obrábění, jelikož příliš malý posuv nástroje může způsobit vibrace nástroje, zakalení součásti, špatný povrch nebo předčasné poškození nástroje. Velký průřez třísky zase vyvolává příliš velký řezný odpor, což je velké riziko.

Výhody aplikace *OptiPath*:

- Zkrácení produkčního času – optimalizovaný proces obrábění zkracuje produkční dobu a výrobek opouští dříve výrobu.
- Úspora peněz – klasickými postupy zkrácení strojního času na počet strojů a objem výroby lze určit celkovou finanční úsporu na produkční měsíc, čtvrtletí nebo rok.
- Zvýšení produktivity – stejný počet strojů produkuje více výrobků za stejný objem času, optimalizací si obrazně „můžeme pořídit nový stroj“.
- Snížení únavy personálu – obsluha stroje není nucena detailně dohlížet na proces obrábění v průběhu chodu optimalizovaného procesu – takto lze zvýšit produktivitu práce bez nároků na vyšší personální obsazení či zvyšování kvalifikace již stávajících zaměstnanců – z toho plynou i úspory mzdové.
- Snížení opotřebení nástroje – menší potřeba času k obrábění jednotlivého kusu znamená menší časové nasazení nástroje jako takového. Obrábění při optimalizovaných podmínkách tak prodlužuje životnost nástroje, prodlužuje dobu použití nástroje v CNC stroji, prodlužuje servisní intervaly ( ostření či výměna nástroje ), čímž je snížena doba odstávky obráběcí stanice a servisní mechanik je schopen zabezpečit plynulý chod více stanic při zachování časové náročnosti.
- Snížené opotřebení stroje – optimalizovaný chod znamená zachování konstantního řezného tlaku mezi nástrojem a obrobkem, omezení případných rázů a silových výchylek působících na pohonné jednotky.
- Zvýšení kvality – konstantní řezný tlak s minimalizovanými vibracemi nezpůsobuje vady povrchu, odpadá nutnost jemných dokončovacích operací, což v důsledku snižuje dobu výroby a finanční náklady s ní spojené.

### **2.2.3 Auto-DIFF**

Aplikace *AUTO-DIFF* umožňuje porovnání zpracovávaného modelu s jeho „již teoreticky obrobem“ výrobkem, automaticky detekuje rozdíly a tím umožňuje programátorovi zabránit podřezání a nedořezání obrobku. Je možno funkci spustit kdykoli během zpracování modelu. Systém vyhledá případné konstrukční nedostatky obrobku. Zjištěné podřezání a nedořezání obrobku je znázorněno na obr. 11.



Obr. 11 Podřezání a nedořezání materiálu

*AUTO-DIFF* také eliminuje chybu, která by za normálních okolností byla viditelná až na hotovém kusu, ještě před jejím vznikem. Systém pracuje na bázi porovnání ze tří možných úhlů pohledu:

1. pohled tělesa – tělesa jsou mezi CAD/CAM systémy užívané nejčastěji. Jejich strukturovanost a náhled na řešení slouží jako srovnávací měřítko vhodnosti systému pro praktickou aplikaci a jednotlivé systémy se právě tímto náhledem liší. Je možno identifikovat chyby ( nedostatek či přemíra materiálu ) uživatelským nastavením tolerančních mezí. Tvůrce modelu sám nastaví chybu, kterou je ještě ochoten tolerovat jako kritérium, které pak systém respektuje. Samozřejmě je možné srovnávat různé modely vytvořené v systému Vericut jako metodu srovnání rozdílů operací typu hrubování a dohrubování.
2. pohled povrchu obrobku – požadovaná plocha, soubor ploch nebo celý povrch požadovaného obrobku je „nasazen“ na simulovanou součást a systém vyhodnotí nesrovnalosti mezi požadavky a simulovanou součástí. Tímto způsobem je možno porovnávat i velmi velké objemy dat z komplikovaných trajektorií nástrojů velmi rychle.



3. bodový pohled – používá se u velmi komplikovaných obrobků, kde není možno jednoznačně použít předchozí dvě srovnávací metody. Ve 3-D je definován referenční bod a k němu vztažené body na obrobku. Závislost je porovnána s trajektorií nástrojů a při nepřesnosti systému hlásí chybu.

Funkci *AUTO-DIFF* je možno používat interaktivně během simulace, aniž by utrpěla její rychlost nebo výkon. Detekuje také kolize mezi nástrojem a komponenty v blízkosti obráběného modelu jako jsou závlačky nástroje, segrovky, ložiska a jiné. Systém je možno uživatelsky nastavit – z pohledu výstupního formátu ( IGES,TXT,... ) nebo zpracování většího množství dat v režimu batch ( porovnání více obrobků ve frontě – systém je možno nechat pracovat řadu hodin bez obsluhy a pak jen vyzvednout zpracované výsledky ).

## 2.2.4 Model Export

Funkce *Model Export* umožňuje exportovat obráběný model v libovolném okamžiku obráběcího procesu do CAD modelu se všemi vlastnostmi.

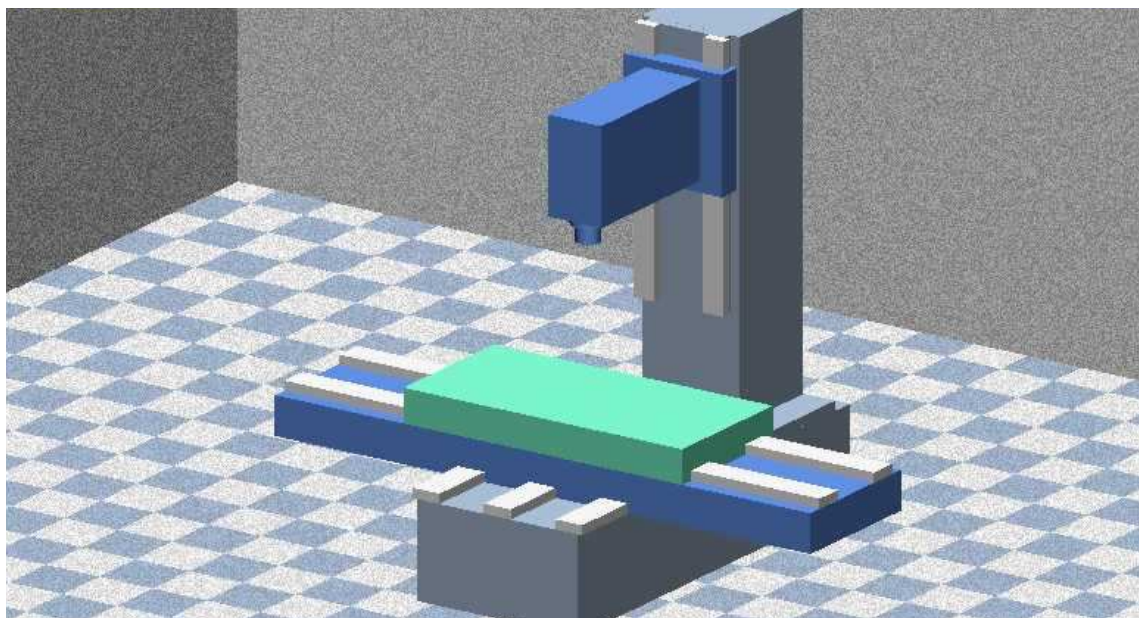
Možnost získat přesný geometrický tvar obrobku pomáhá vyhnout se problémům při tvorbě drah nástroje u jednotlivých operací. CAD/CAM systémy předchozích generací zpravidla podporují export modelů po dokončení dané operace pro obrábění ve dvou a půl osách, ty nejlepší z nich jsou omezeny na tříosé obrábění. Přesto nejsou schopny zabezpečit ošetření ztráty případných exportovaných prvků modelu. Některé obrobené prvky, jako jsou například díry, se pak při exportu modelu mohou ztratit. Systém Vericut uplatňuje verifikaci ve všech krocích exportu porovnáním vytvářeného algoritmu s původním algoritmem. Po simulaci NC dráhy nástroje tak vytvoří model obsahující mnohem větší množství dat než tradiční CAD systémy. Výsledek pak obsahuje syntézu požadovaných vlastností původního modelu obohacených o nadstavbové prvky vyšších algoritmizačních procesů prostředí Vericut.

## 2.2.5 Machine simulation

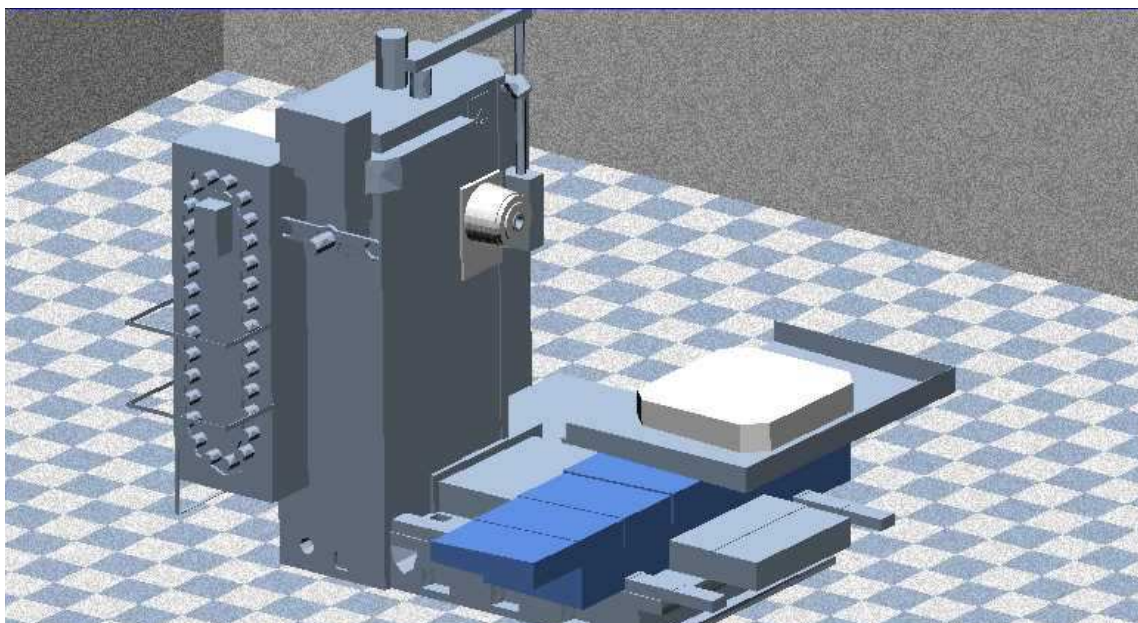
Práce na víceosých strojích obecně, obzvláště při těch režimech obrábění, kde se orientace nástroje při obrábění mění velmi často, přináší celou řadu možností vzniku kolizních stavů. Tyto nežádoucí stavy mohou v důsledku závažně poškodit obráběcí zařízení (upínací hlava, vřeteno, ...), případně celou obráběcí stanici, což může způsobit prodlení výroby, nesplnění závazků vůči odběrateli a poškodit renomé firmy. Toto lze úspěšně eliminovat vhodným nastavením stroje a kontrolou tohoto nastavení ještě před vlastní výrobou.

Aplikace *Vericut Machine simulation* podporuje 3-D vymodelování stroje a je schopna odhalit kolize všech částí stroje ( obráběcí hlava, otočný stůl, vřeteno, zásobník nástrojů, ... ) s dalšími uživatelem definovanými objekty ( obrobek, upínky, ... ).

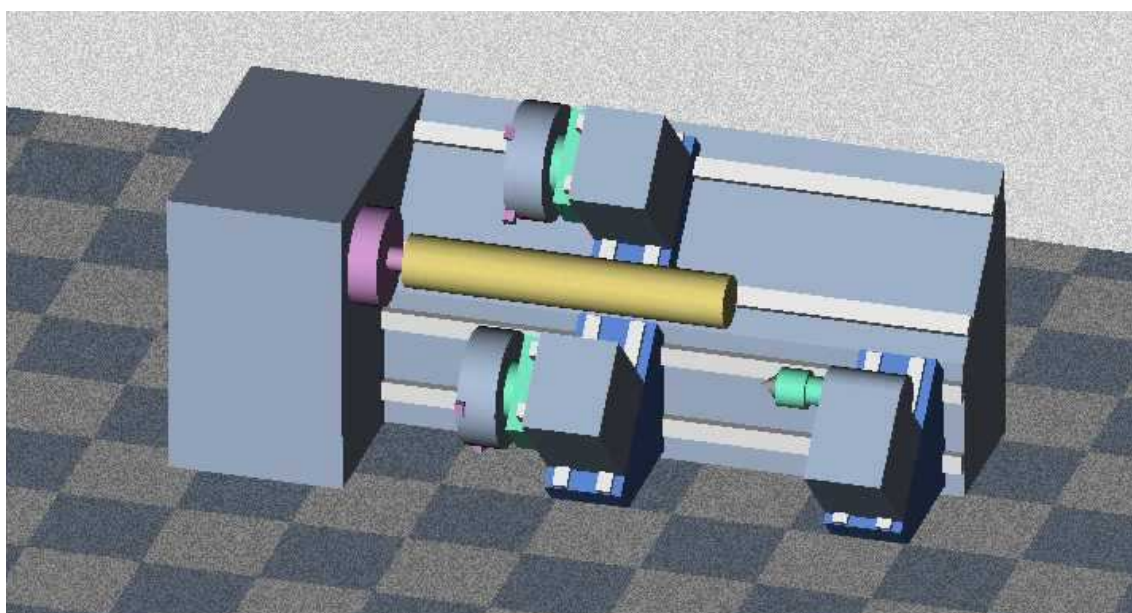
Vericut obsahuje knihovnu řady strojů, nebo si lze vytvořit vlastní model stroje s jeho řídicím systémem a knihovnou nástrojů používaných na tomto stroji. Již vytvořená knihovna obsahuje stroje firem: Mazak, Cincinnati Milacron, Makino, Bostomatic, Fadal, Ingersoll Milling, atd. Příklady některých již vytvořených strojů v knihovně Vericut jsou zobrazeny na obr. 12, obr. 13 a obr. 14.



Obr. 12 Příklad frézky s knihovny Vericut – vertikální tříosá frézka VMC 6030 – výrobce Fadal



Obr. 13 Příklad vyvrtávačky z knihovny Vericut – pětiosá horizontální vyvrtávačka KBM11 – výrobce Kuraki



Obr. 14 Příklad soustruhu z knihovny Vericut – revolverový soustruh

Vlastní stroj je možno vytvořit dvěma způsoby. Jednou z možností je vymodelování jednotlivých komponentů stroje ve zvoleném CAD systému a vyexportování ve formátu STL modelů, které následně sestavíme v systému Vericut. Druhý způsob je vytvoření primitivních modelů přímo v prostředí Vericut.

Řídící prvky simulace – prostředí Vericut bylo vyvinuto profesionály s pochopením komplexnosti CNC problematiky a znalostí jejich specifik a potřeb řízení. Vericut tímto umožňuje systémově nahlížet na komplikované celky i jednotlivé prvky, jejichž řešení by bylo komplikované:

- kompenzace zkreslení 3-D náhledu
- programování na špičku nástroje a kompenzace délky nástroje
- odměřování od referenčního bodu
- využití osových referenčních bodů
- možnosti definovat proměnné, podprogramy, makra
- procedury a funkce v logickém významu

Pomocí aplikace *Machine Simulation* lze s úspěchem simulovat prostředí běžného strojního parku. Většina NC strojů nevyžaduje speciální programovací jazyk, je ovládána prostředky výrobce. Vericut spolupracuje s většinou prostředí dodávaných výrobců NC strojů, součástí softwarového balíku jsou moduly pro komunikaci s prostředím Fanuc, Allen-Bradley, Mazak, NUM, Cincinnati Acramatic, Okuma, Fadal, Maho Phillips, General Electric, Siemens Sinumerik, Giddings & Lewis, Heidenhain, Yasnac,...

Součástí tohoto komplexního simulačního prostředí jsou už téměř samozřejmé funkce jako kontrola kolizních bodů, rozsahů strojního prostoru, a jiné.

## **2.2.6 Multi-Axis**

Aplikace *Multi-axis* umožňuje přesné polohování nástroje při víceosém obrábění. Právě toto polohování je při čtyř a pětiosém obrábění kritické a zvyšuje důležitost verifikace. Aplikace multi-axis umožňuje graficky znázornit v systému Vericut průběh víceosého obrábění a eliminovat chyby ještě před jejich vznikem.

V kombinaci s licencí *Machine Simulation* lze ovlivnit i potenciální 3D kolize soustavy stroj – nástroj – obrobek.

## **2.2.7 Advanced Machine Features**

Systém *Advanced Machine Features* je nadstavbou prostředí Vericut, zpravidla vytvářenou na speciální přání zákazníka. Tento systém je schopen simulovat jak speciální obráběcí stanice, tak speciální obráběcí postupy a je nastaven tak, aby vyhověl různorodým požadavkům zákazníka. Příkladem může být vytvoření dopravníku palet, nebo zásobníku nástrojů a obráběcích hlav.

## **2.2.8 Machine Developer`s Kit**

Přestože jsou možnosti systému Vericut přizpůsobeny pro většinu uživatelů, někteří mají speciální požadavky simulace či specifické procesy zpracování, pro které je základní prostředí nedostatečné. Pro ty je určen balíček *Machine Developer`s Kit* umožňující detailní zpracování dat na vysoké technické úrovni, který rozšiřuje možnosti Vericutu interpretovat a simulovat komplexní a málo běžná strojní datová řešení speciálních NC stanic či celých specializovaných výrobních linek.



### 3 Praktická část

V této kapitole je popsán postup tvorby modelu stroje Rambdaudi RAMSPEED H45L v systému Vericut, určení jeho kinematiky a řídicího systému. Na obr. 15 je tento stroj zobrazen.



Obr. 15 Foto stroje Rambdaudi RAMSPEED H45L

Technické parametry stroje Rambdaudi RAMSPEED H45L:

- rozsah posuvu v ose X – 4500mm
- rozsah posuvu v ose Y – 2700mm
- rozsah posuvu v ose Z – 1250mm
- rozsah osy A -  $\pm 110^\circ$
- rozsah osy C -  $\pm 220^\circ$
- rozměry stolu – 4500x2500mm
- označení vřetene – HSK-A-63
- max. výkon – 30kW
- max. kroutící moment – 58Nm
- otáčky -  $500 \div 24000 \text{ min}^{-1}$

Dalším krokem je vytvoření fiktivního modelu vhodného pro 5ti-osé obrábění, vygenerování drah nástrojů pro obrobení této součásti v softwaru PowerMill pro následnou verifikaci ve Vericutu na stroji Rambdaui RAMSPEED H45L a s tím související vytvoření tabulky nástrojů.

Významným důvodem pro koupi softwaru Vericut do firmy Modelárna Liaz byla také jeho schopnost práce se zbytkovým materiálem, proto je zde i ukázka kontroly podřezání a nedořezání součásti.

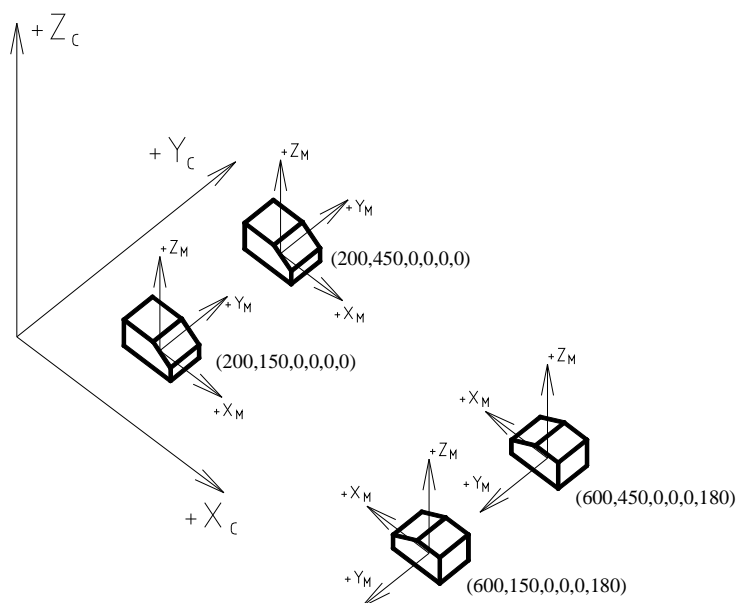
### **3.1 Příprava 3D modelu stroje Rambdaui RAMSPEED H45L**

Při tvorbě modelu stroje bylo využito možnosti vytvořit jednotlivé části stroje v systému ProEngineer a následně je sestavit v systému Vericut. ProEngineer totiž umožňuje vymodelovat tvarově složitější části stroje, zatímco v systému Vericut je tato možnost značně omezena – lze zde modelovat pouze jednoduché geometrické útvary jako jsou válce, kvádry,...

#### **3.1.1 Model stroje a určení jeho kinematických vazeb**

Pracovní prostředí v systému Vericut se skládá z tzv. komponentů. Komponent představuje určitou funkci pracovního prostředí. Například komponent Fixture definuje upínací systém, komponent X posuv v ose X, komponent C rotaci kolem osy Z, apod. Každý komponent se může skládat z jednoho nebo více modelů – modely jednoduchých tvarů je možné vytvářet přímo ve Vericutu (kvádry, válce, kužely), u složitějších tvarů se využívá importu modelů ve formátu STL nebo IGES. Modely mají své vlastní souřadné systémy, pomocí kterých se rozmísťují v pracovním prostředí vzhledem k souřadnému systému komponentu. Modely tedy můžeme v rámci komponentu libovolně posouvat a rotovat. Příklad rozmístění modelů v rámci komponentu je znázorněn na obr. 16. Souřadný systém komponentu je značen indexem  $c$  a souřadné systémy modelů indexem  $m$ . U modelů jsou v závorkách uvedeny hodnoty posunutí (v

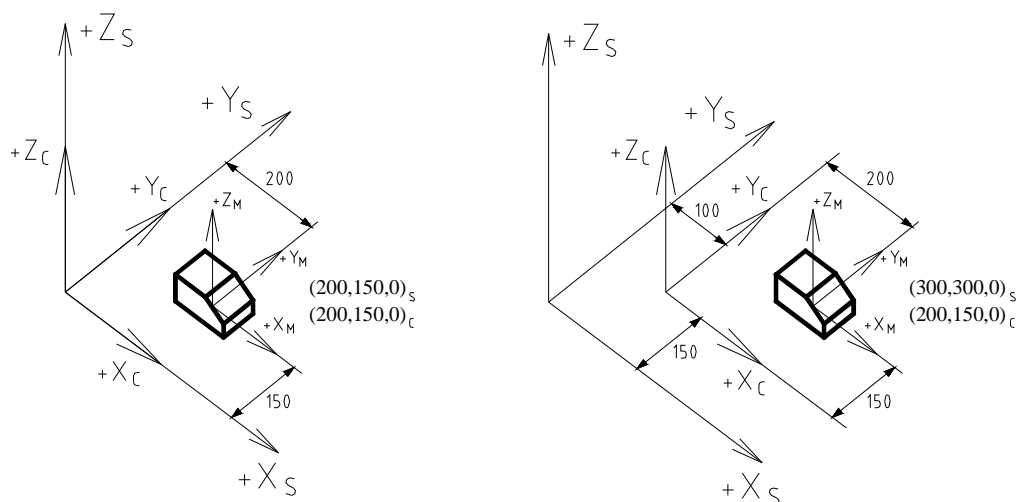
milimetrech) a rotací (ve stupních) souřadného systému modelu vůči souřadnému systému komponentu (X,Y, Z, A, B, C).



Obr. 16 Umístění jednotlivých modelů upínek v komponentu Fixture

Umístění každého komponentu v pracovním prostředí stroje ve Vericutu je realizováno pomocí vektoru (tento vektor je uveden na obr. 18 – v závorce za názvem komponentu), který udává posunutí souřadného systému komponentu vůči nule celého stroje. Znamená to, že pokud vytvoříme například modely komponentu Fixture, exportujeme je v souřadném systému shodném se souřadným systémem stroje a potřebujeme ve Vericutu umístit všechny modely komponentu Fixture v jiné pozici, neposouváme jednotlivé modely náležející tomuto komponentu, ale o požadovanou hodnotu posuneme tento komponent a zároveň se o tuto hodnotu změní i umístění všech modelů spadajících do tohoto komponentu vzhledem k souřadnému systému stroje. Umístění těchto modelů vzhledem k souřadnému systému komponentu ale zůstává stejné – viz. obr. 17. Souřadný systém stroje je značen indexem  $s$ , souřadný systém komponentu indexem  $c$  a souřadný systém modelu indexem  $m$ . Souřadnice v závorce u modelu upínky udávají umístění v souřadném systému – závorka s indexem  $s$  značí umístění v souřadném systému stroje, s indexem  $c$  v souřadném systému komponentu.





Obr. 17 Změna souřadnic modelu při posunutí komponentu – a) výchozí poloha komponentu, b) posunutí komponentu v ose X o 100mm a v ose Y o 150mm

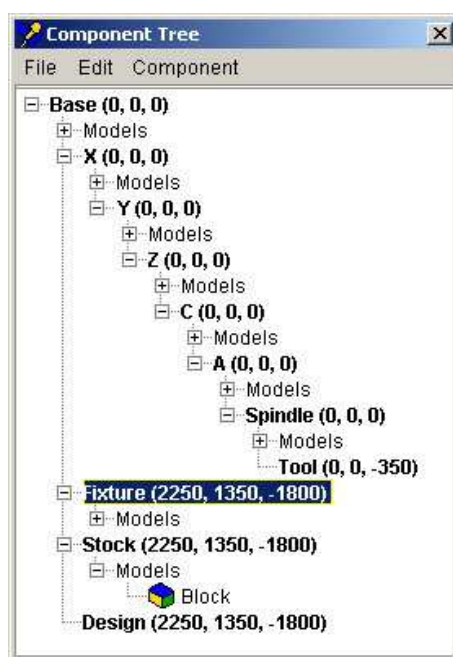
Ke stavbě modelu stroje ve Vericutu je tedy možné přistupovat několika způsoby:

- vymodelovat jednotlivé části stroje v CAD systému, který umožňuje export dat v STL formátu, následně modely v tomto CAD systému sestavit do výsledné podoby stroje. V této sestavě vytvořit souřadný systém shodný s nulou stroje a exportovat modely s tímto souřadným systémem. Při tomto postupu jsou modely po importu do Vericutu již sestaveny do podoby stroje a nemusí se dále posouvat či rotovat.
- vymodelovat jednotlivé části stroje v CAD systému, který umožňuje export dat v STL formátu a tyto modely exportovat se souřadným systémem, ve kterém byly vytvořeny. V tomto případě je třeba modely nebo komponenty, do kterých tyto modely patří, ve Vericutu posouvat či rotovat aby byl vytvořen požadovaný model stroje.
- vymodelovat a sestavit jednotlivé modely a komponenty přímo ve Vericutu.

V případě stavby modelu stroje Rambaudi RAMSPEED H45L byla zvolena možnost vymodelovat jednotlivé modely a sestavit je v tzv. nulové poloze stroje v systému ProEngineer. Nulovou polohou se v tomto případě rozumí poloha stroje, ze

které se obráběcí hlava může pohybovat v osách X a Y pouze v kladných hodnotách a v ose Z do záporných hodnot. Nula stroje byla určena v průsečíku os rotace A a C. V tomto bodě byl také vytvořen souřadný systém, ve kterém byly všechny modely exportovány ve formátu STL. Model stroje v nulové poloze je zobrazen na obr. 20.

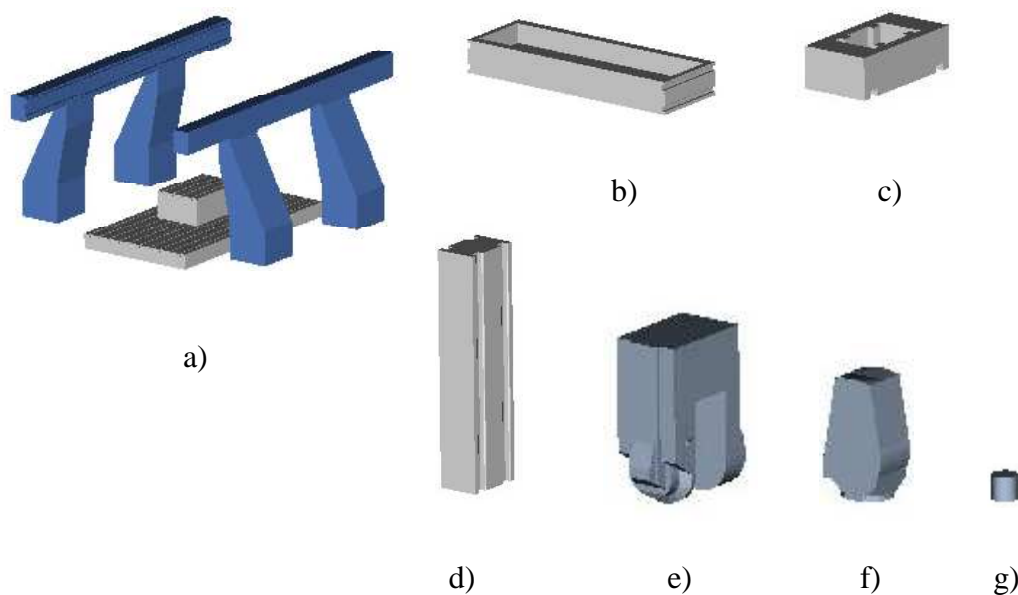
Vzájemné vazby jednotlivých komponentů ve Vericutu jsou určeny sestavením tzv. Component Tree. Obr. 18 znázorňuje závislost koncového bodu nástroje na pohybu jednotlivých komponentů pro model stroje Rambaudi RAMSPEED H45L.



Obr. 18 Component Tree pro model stroje Rambaudi RAMSPEED H45L

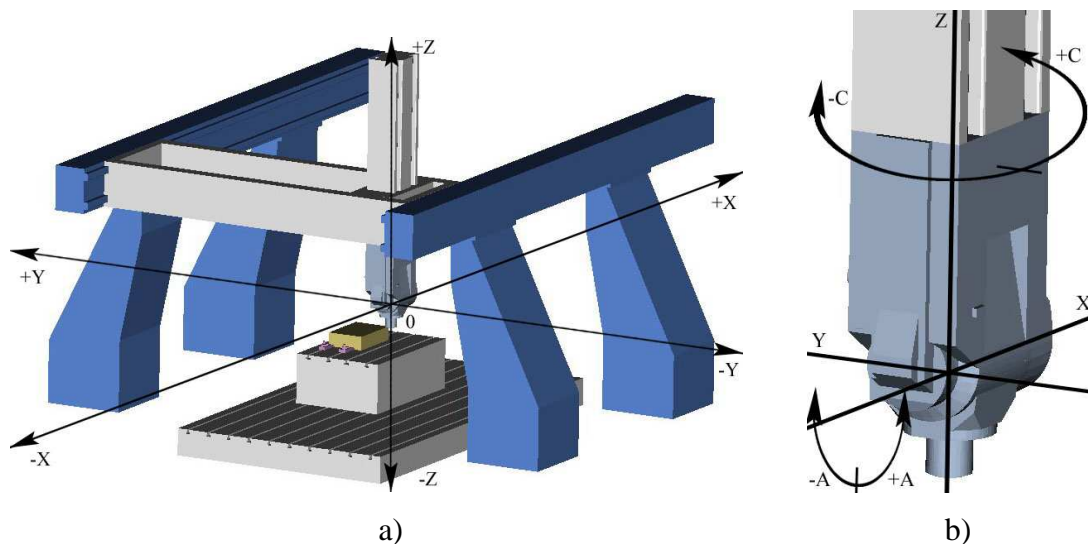
Všechny komponenty modelu tohoto stroje jsou zobrazeny na obr. 19. Základem celého pracovního prostředí je komponent Base. Jedná se o nepohyblivé části stroje jako jsou stojany a obráběcí stůl. Na komponentu Base jsou závislé komponenty X, Fixture, Stock a Design. Komponent X je část stroje zajišťující posuv v ose X – tento komponent má nulový vektor posunutí, jelikož model patřící tomuto komponentu byl vyexportován z CAD softwaru v souřadném systému shodném s nulou stroje. Komponent Fixture představuje upínací systém. Tento komponent má nenulový vektor posunutí. To je z důvodu změny umístění upínek v souřadném systému stroje při obrábění různých součástí. Proto nebyly modely upínek vyexportovány v souřadném systému stroje, nýbrž v souřadném systému, ve kterém byly vytvořeny a rozmísťují se až po importu do Vericutu. Komponent Stock představuje model obrobku a model

Design obsahuje model součástí, se kterým se porovnává obrobený model při kontrole podřezání a nedořezání. Na komponentu X je závislý komponent Y. Tento komponent je část stroje zajišťující posuv v ose Y. Vazba komponentu Y na komponentu X udává, že komponent Y vykonává posuv v ose Y a zároveň se pohybuje s komponentem X ve směru osy X. Stejný princip platí i pro následující komponenty. Tím je zajištěn pohyb nástroje v závislosti na pohybu všech komponentů, na kterých je závislý.



Obr. 19 Jednotlivé komponenty stroje Rambaudi RAMSPEED H45L – a) komponent Base, b) komponent X, c) komponent Y, d) komponent Z, e) komponent C, f) komponent A, g) komponent Spindle

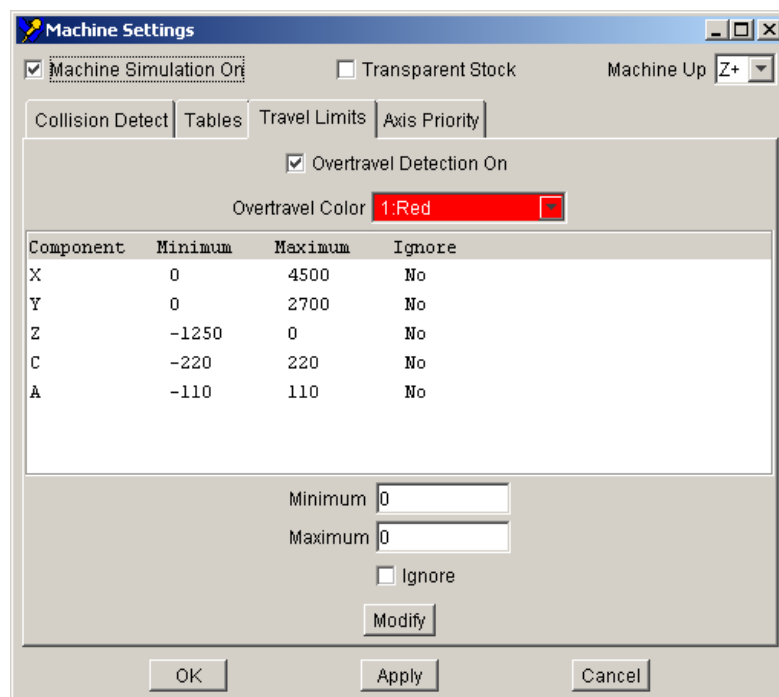
Na obr. 20 je model stroje Rambaudi RAMSPEED H45L v nulové poloze v prostředí Vericut.



Obr. 20 a) Model Rambaudi RAMSPEED H45L v nulové poloze, b) detail obráběcí hlavy Rambaudi RAMSPEED H45L v nulové poloze

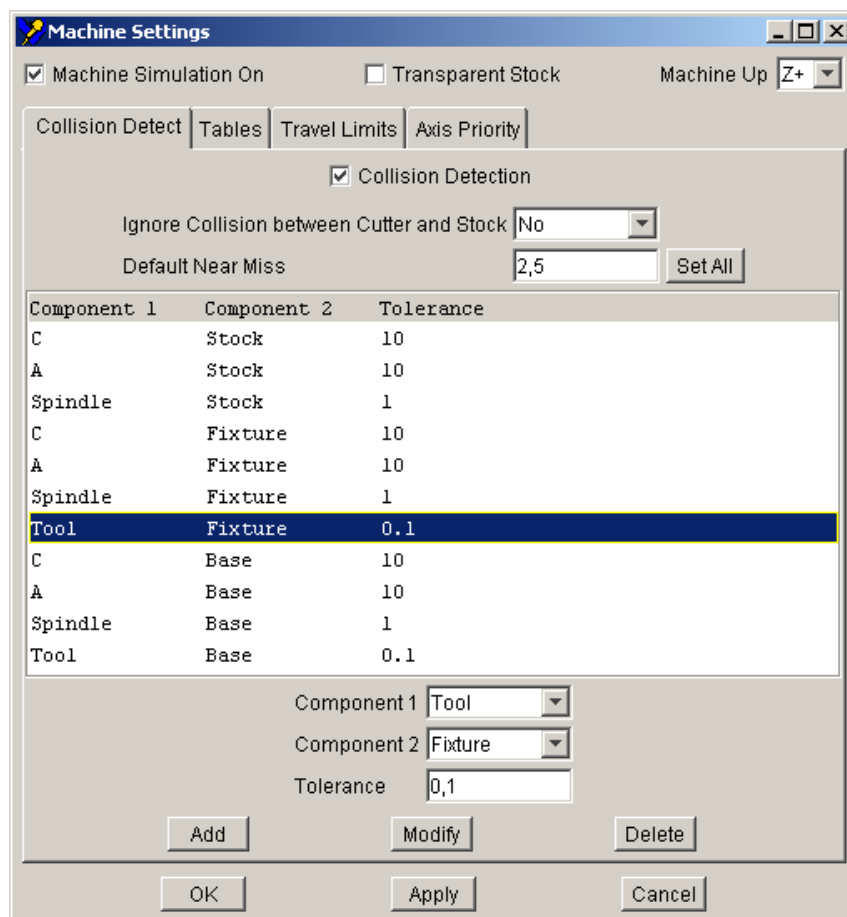
### 3.1.2 Nastavení stroje

Po stanovení kinematických vazeb je třeba zadat možné rozsahy stroje. Tabulka s nastavením rozsahů je na obr. 21. Hodnoty rozsahu posuvů v jednotlivých osách závisí na zvolení nulového bodu stroje. Tyto rozsahy jsou znázorněny na obr. 20. V této tabulce lze také nastavit, jakou barvou budou označeny části modelu stroje, které při simulaci překročí dané rozsahy, a také v jakých osách chceme překročení rozsahu ignorovat. Toho lze využít například v případě, kdy při simulaci umístíme obrobek na stroji moc nízko a model stroje při verifikaci drah neustále překračuje rozsah posuvu v ose Z, přičemž je zřejmé, že kdyby byl obrobek umístěn na stroji výše nedošlo by k překročení tohoto rozsahu. Stačí tedy pouze ignorovat překročení rozsahu a nemusí se přemísťovat model obrobku, upínek a model pro porovnání nedořezání.



Obr. 21 Tabulka nastavení rozsahů stroje Rambaudi RAMSPEED H45L

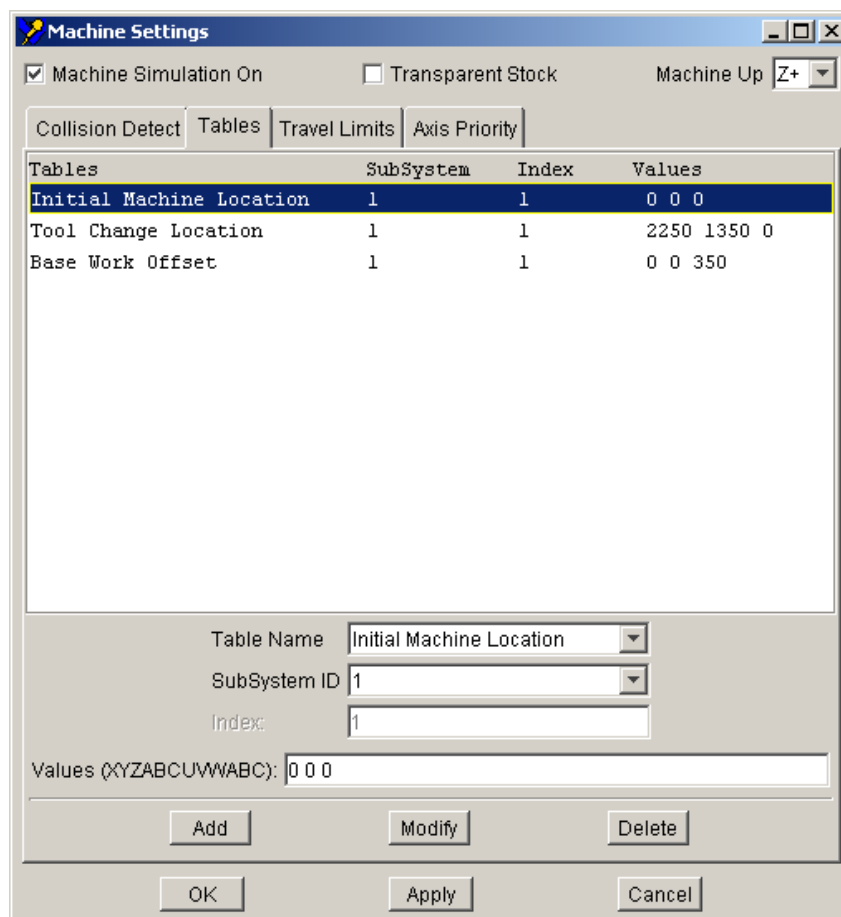
Dále je nutné definovat jaké kolize vyžadujeme kontrolovat. Tabulka zvolených kolizí sledovaných při simulaci obrábění fiktivní součásti je na obr. 22. Do sloupců component 1 a component 2 zadáváme komponenty, mezi kterými předpokládáme kolizi a ve sloupci tolerance je vzdálenost mezi zvolenými komponenty v milimetrech, pod kterou se nesmí při simulaci dostat. Vyšší hodnoty tolerance v případech, kde se vyskytují části obráběcí hlavy (osa A, osa C), jsou zvoleny z důvodu nepřesného vymodelování této hlavy.



Obr. 22 Tabulka sledovaných kolizí

Nakonec je potřebné definovat nastavení řady parametrů stroje jako jsou nastavení nuly stroje, bodu výměny nástroje, pracovního offsetu a několika dalších parametrů.

Parametry zvolené pro nastavení stroje Rambda RAMSPEED H45L jsou zobrazeny na obr. 23. Hodnoty posunutí přiřazené jednotlivým parametrům nastavení stroje jsou udávány vzhledem k nule stroje v nulové poloze. Pro tento případ byla zadána výchozí nula stroje (Initial Machine Location) – jde o polohu, do které se model nastaví po resetu. Dalšími parametry zde nastavenými jsou bod výměny nástroje (Tool Change Location) a pracovní offset (Base Work Offset). U hodnoty pracovního offsetu je hodnota 350mm – je to vzdálenost ve směru osy Z mezi osou otáčení části obráběcí hlavy (osa A) a koncovým bodem vřetene v nulovém bodě, kam se připojuje nástroj. Jde v podstatě o kompenzaci posunutí komponentu nástroje – viz. stromová struktura modelu stroje.



Obr. 23 Parametry nastavení stroje

### 3.1.3 Řídící systém stroje

Stroj Rambaudi RAMSPEED H45L pracuje se řídícím systémem Fidia M2. Tento řídící systém ve Vericutu nebyl, bylo tedy potřeba ho vytvořit. To bylo možné udělat modifikací již hotového řídícího systému Fidia M30. Modifikace spočívá ve specifikaci funkce neznámých kódů.

Verifikací několika programů byly zjištěny tyto chybějící funkce:

G51 – U programů prováděných kontinuální automatikou načítá řízení určitý počet vět následujících od věty, která je právě prováděna na stroji. Tento postup se nazývá Look-ahead a sestává se z řady parametrů, které lze optimalizovat při instalaci. Pro funkci Look-aheas existují oddělené skupiny parametrů - mají sice stejný význam, ale jsou zamýšleny pro rozdílné obrábění. Kód G51 platí pro hrubování.

G52 – Význam stejný jako G51, ale platí pro dokončování.

M100 – Cyklus pro mazání vodících ploch stroje. Touto funkcí se uvede v činnost mazací cyklus. To je účelné při prvním naplnění nádrže mazacího agregátu (např. při instalaci stroje), příp. hned po novém naplnění nádrže. Za normálních podmínek je mazání stroje automatické, tudíž není nutné tuto funkci programovat.

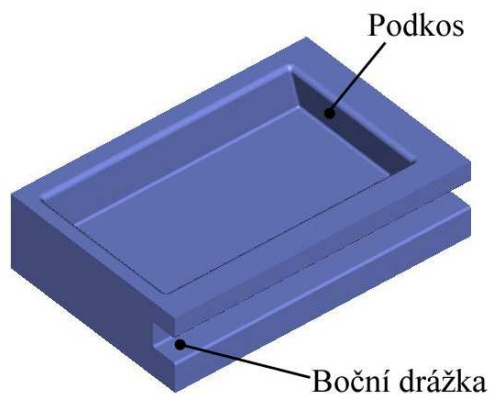
U programů pro 5ti-osé obrábění se mohou vyskytovat úzce specializované příkazy GM kódu, které jsou specifické pouze pro daný řídicí systém. Pro již otestované programy byly tyto příkazy do řídicího systému doplněny. Jelikož se ale v programech drah pro testované modely nemusely objevit všechny potřebné příkazy GM kódu se kterými pracuje řídicí systém Fidia M2, bude v budoucnu třeba ověřit funkčnost modelu stroje a jeho řídicího systému na mnoha dalších programech a případně pro tyto příkazy řídicí systém upravit.

## **3.2 Verifikace drah fiktivní součásti**

Pro ověření funkčnosti modelu stroje byl vytvořen model fiktivní součásti – viz. obr. 24. Na tomto modelu jsou navrženy prvky tak, aby na něm byly demonstrovány problémy, které mohou při obrábění nastat a které nelze odhalit při generování drah a při kontrole kolizí v systému PowerMill. Jde o podkos v uzavřené části modelu vyžadující naklopení obráběcí hlavy a o boční drážku vyžadující vytočení hlavy o 90°, jak je uvedeno na obr. 24.

Pro verifikaci obráběcích programů je potřeba vytvořit dráhy nástroje ve zvoleném CAM systému – v našem případě jde o software PowerMill, vytvořit tabulku nástrojů a držáků použitých k obrábění dané součásti, nastavit rozsahy stroje a zvolit možné kolize, které je třeba kontrolovat.

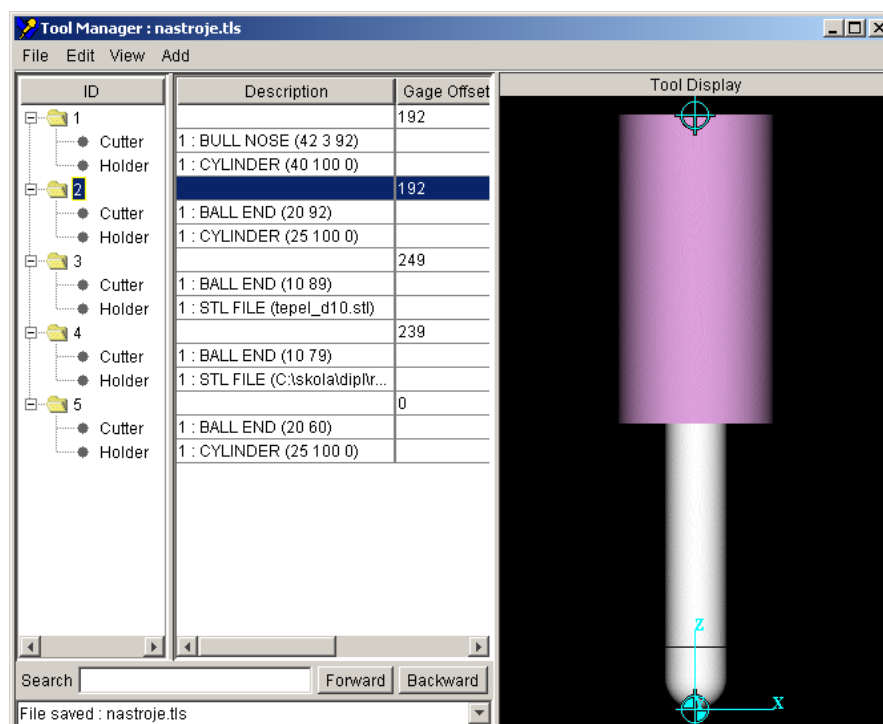




Obr. 24 Model fiktivní součásti

### 3.2.1 Tabulka nástrojů

Tabulka nástrojů a držáků se vytváří na základě kontroly kolize nástroje v systému PowerMill. V tomto softwaru lze totiž provádět kontrolu kolize držáku s obrobkem, čímž je možné zjistit nejmenší vyhovující vyložení nástroje. Takto zjištěná hodnota vyložení je pak ve Vericutu použita jako délka nástroje. Tabulka nástrojů použitá pro verifikaci fiktivní součásti je na obr. 25.



Obr. 25 Tabulka nástrojů

Tabulka udává číslo nástroje - ID, pod kterým daný nástroj vystupuje v programech. Ke každému ID je možné zvolit jeden nástroj (cutter) a několik držáků (holder).

Ve sloupci description je stručný popis zvolených nástrojů a držáků – jejich parametry a způsob zadání. Nástroje můžeme zadávat z již předdefinovaných tvarů běžně užívaných nástrojů (kulová fréza, hrotová fréza, fréza s rádiusem břitu, ...), kterým pouze nadefinujeme požadované parametry. Dalším způsobem tvorby nástroje je naskicování jeho profilu ve skicáři Vericutu. Držáky můžeme rovněž zadávat pouze definováním parametrů u jednoduchých tvarů ( válce, kvádry,...), dále naskicováním profilu nebo zadáním cesty k souboru s modelem držáku ve formátu STL.

V dalším sloupci tabulky nástrojů je gage offset. Jedná se o hodnotu vyložení nástroje s držákem z části stroje, na kterém je nástroj závislý – viz. stromová struktura modelu stroje. V tomto případě jde o vyložení nástroje ze vřetene.

### **3.2.2 Verifikace**

Obrábění fiktivní součásti je rozděleno do tří fází, ve kterých byly zjištěny různé druhy chyb. Jedná se o tříosé obrábění, při kterém je obrobena převážná část modelu, pětiosé obrábění podkosu a obrábění boční drážky. Ke každé dráze vygenerované v PowerMillu je zde uveden obrázek dráhy zkontrolované na kolize, její stručný popis, ukázka z průběhu simulace ve Vericutu a při případné kolizi detail a popis této chyby.

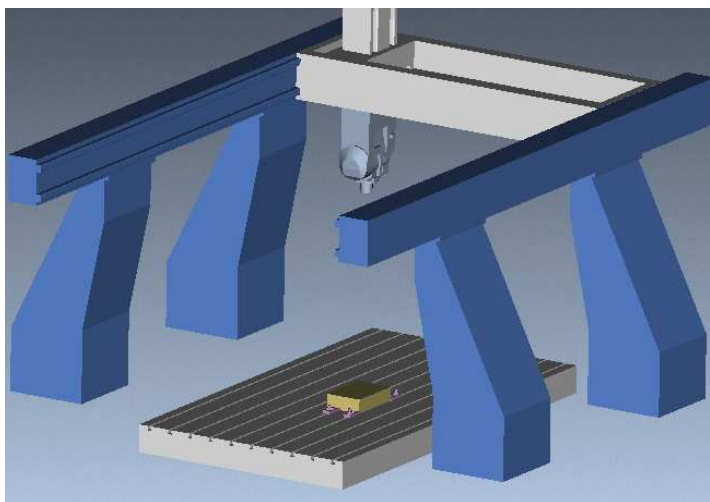
Pro obrázky z PowerMillu platí, že obráběná součást je zobrazena modře, dráhy nástroje zeleně, přejezdy nástroje nad kusem světle modrou, červenou nebo fialovou, nástroj žlutě a držák červeně.

Barvy na obrázky z Vericutu jsou žlutá pro obrobek, fialová pro upínky, bílá pro stůl a posuvy X,Y, Z, světle modrá pro obráběcí hlavu (osa A, osa C) a tmavě modrá pro nepohyblivé části stroje. Červeně jsou označeny nalezené kolize. Žlutá barva pro obrobek platí pouze pro stav před obráběním – při simulaci obrábění je totiž každý nástroj značen jinou barvou, takže po sobě nechává i stejně barevné stopy.

### 3.2.2.1 3-osé obrábění

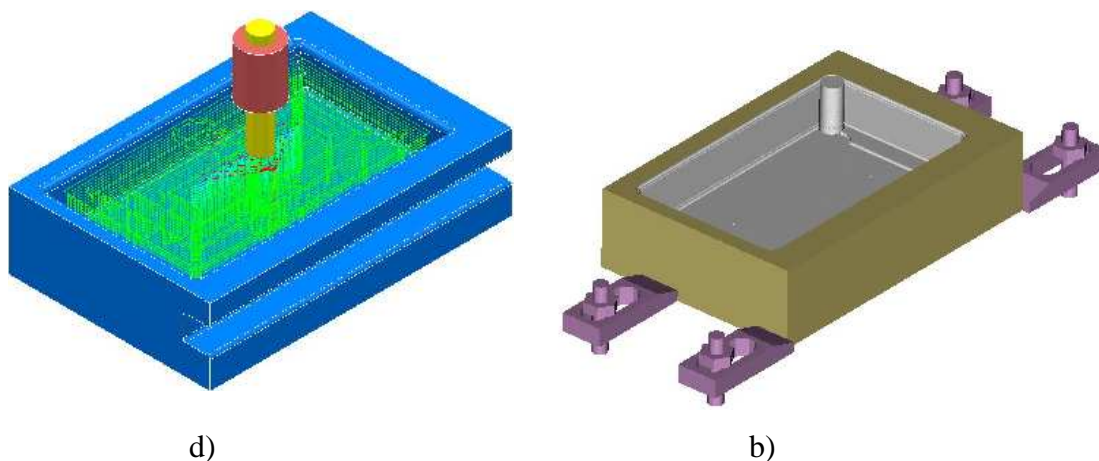
Při obrábění je snaha většinu ploch obrobit při 3-osém obrábění.

Jako polotovar pro danou součást byl zvolen materiál ve tvaru kvádrů o rozměrech 600x400x151mm. Tento polotovar byl umístěn doprostřed stolu jak je znázorněno na obr. 26. Počátek souřadného systému je třeba umístit do stejného místa polotovaru, ke kterému jsou generovány dráhy v PowerMillu. To je určeno parametrem Input Program Zero v nastavení G-kódu.



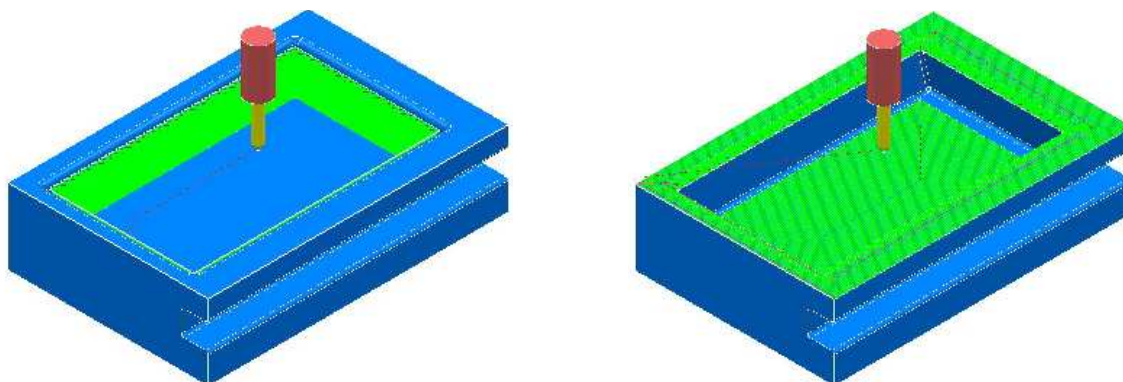
Obr. 26 Umístění polotovaru na stole stroje

Nejprve bylo provedeno hrubování frézou D42r3 (průměr nástroje 42mm s poloměrem zaoblení 3mm) – ID1. Šířka záběru frézy  $a_e = 36\text{mm}$ , hloubka záběru  $a_p = 5\text{mm}$  a ponechaný přídavek na obrábění 1mm. Použitý držák je válcový o průměru 80mm a délce 100mm a nástroj z držáku vyložen 92mm.

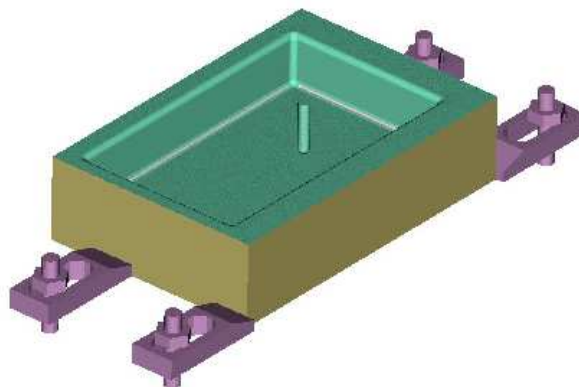


Obr. 27 Hrubování – a) PowerMill, b) Vericut

Další fází je obrobení všech dostupných ploch načisto. Zde byla zvolena fréza D20r10 – ID2. Šířka záběru frézy  $a_e = 1\text{mm}$ . Program obrábění načisto je složen ze dvou drah nástroje. To je z důvodu odlišné strategie obrábění použité na plochy se sklonem větším než  $50^\circ$  a se sklonem menším než  $50^\circ$ . Držák nástroje je válcový o průměru 50mm a délce 100mm a vyložení nástroje z držáku je 92mm.

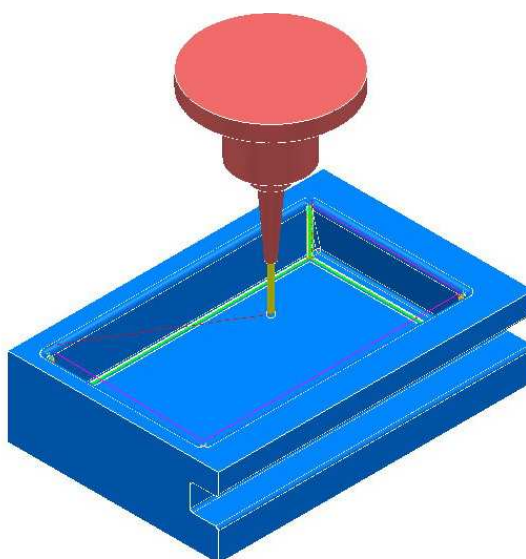


Obr. 28 Obrábění načisto - PowerMill



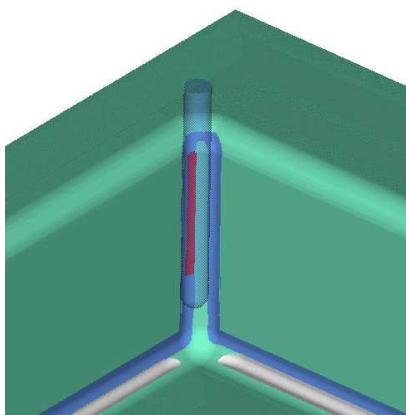
Obr. 29 Obrábění načisto - Vericut

Následuje obrobení míst s menším poloměrem než 10mm. Zvolen byl nástroj D10r5 - ID3, upnutý v tepelném upínači, šířka záběru frézy  $a_e = 0,5\text{mm}$ . Vyložení nástroje z držáku je 89mm.



Obr. 30 Obrábění koutů - PowerMill

Při obrábění koutů došlo k zásahu stopky nástroje do materiálu. Detail chyby je zobrazen na obr. 31.



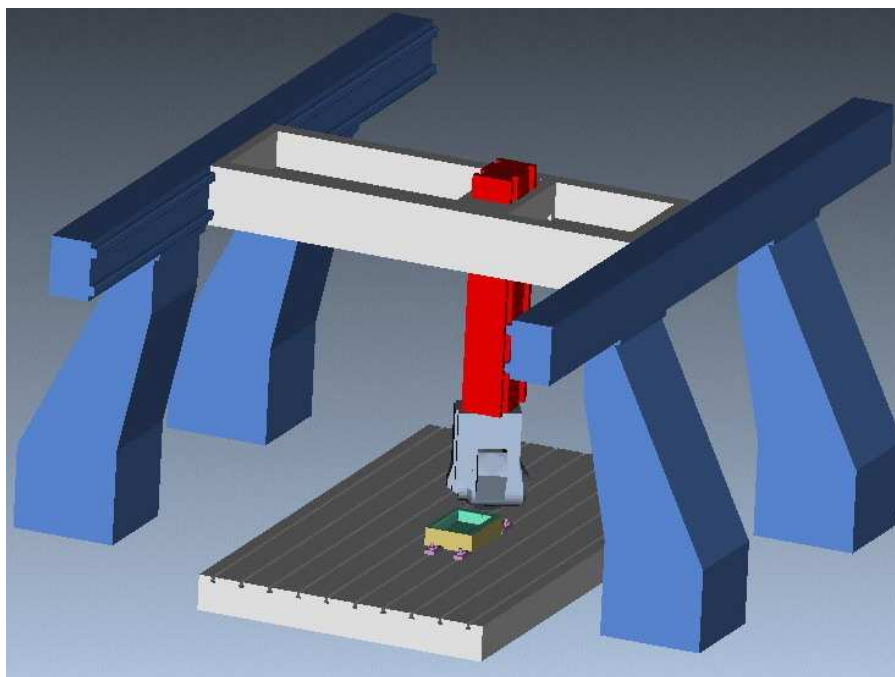
Obr. 31 Nalezená kolize – červeně je označen zásah stopky nástroje do materiálu

Chybu lze napravit volbou jiné strategie obrábění, výběrem nástroje s delší řeznou částí nebo vyklopením obráběcí hlavy. V tomto případě byla zvolena jiná strategie, se kterou již obrobení koutů proběhlo bez kolize.

### 3.2.2.2 5-ti osé obrábění podkosu

Podkos je na této součásti navržen pro kontrolu kolize obráběcí hlavy s obrobkem. Na hrubování byla použita fréza D10r5 – ID4 při šířce záběru frézy  $a_e = 3\text{mm}$ , hloubka záběru  $a_p = 1\text{mm}$ . Upnuta byla do tepelného upínače při vyložení nástroje 79mm. Při obrábění načisto byla použita stejná fréza jako na hrubování podkosu a šířka záběru frézy  $a_e = 0,5\text{mm}$ .

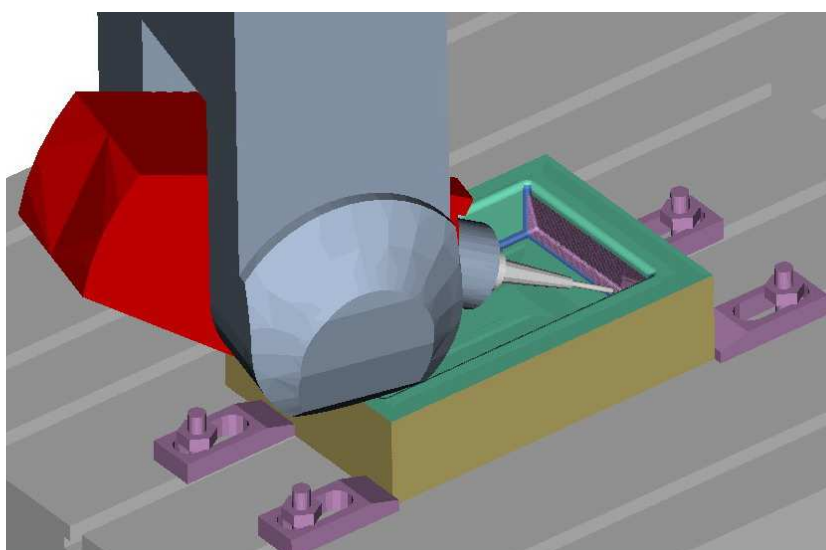
Při verifikaci byla nalezena jako první chyba překročení rozsahu posuvu v ose Z. Tato chyba je signalizována zčervenáním části modelu, který náleží danému posuvu – obr. 32.



Obr. 32 Překročení rozsahu posuvu stroje v ose Z

Bylo tedy třeba umístit pod obrobek menší obráběcí stůl. S tím je také spojená změna parametru Input Program Zero, který je třeba zmenšit ve směru osy Z o hodnotu výšky stolu.

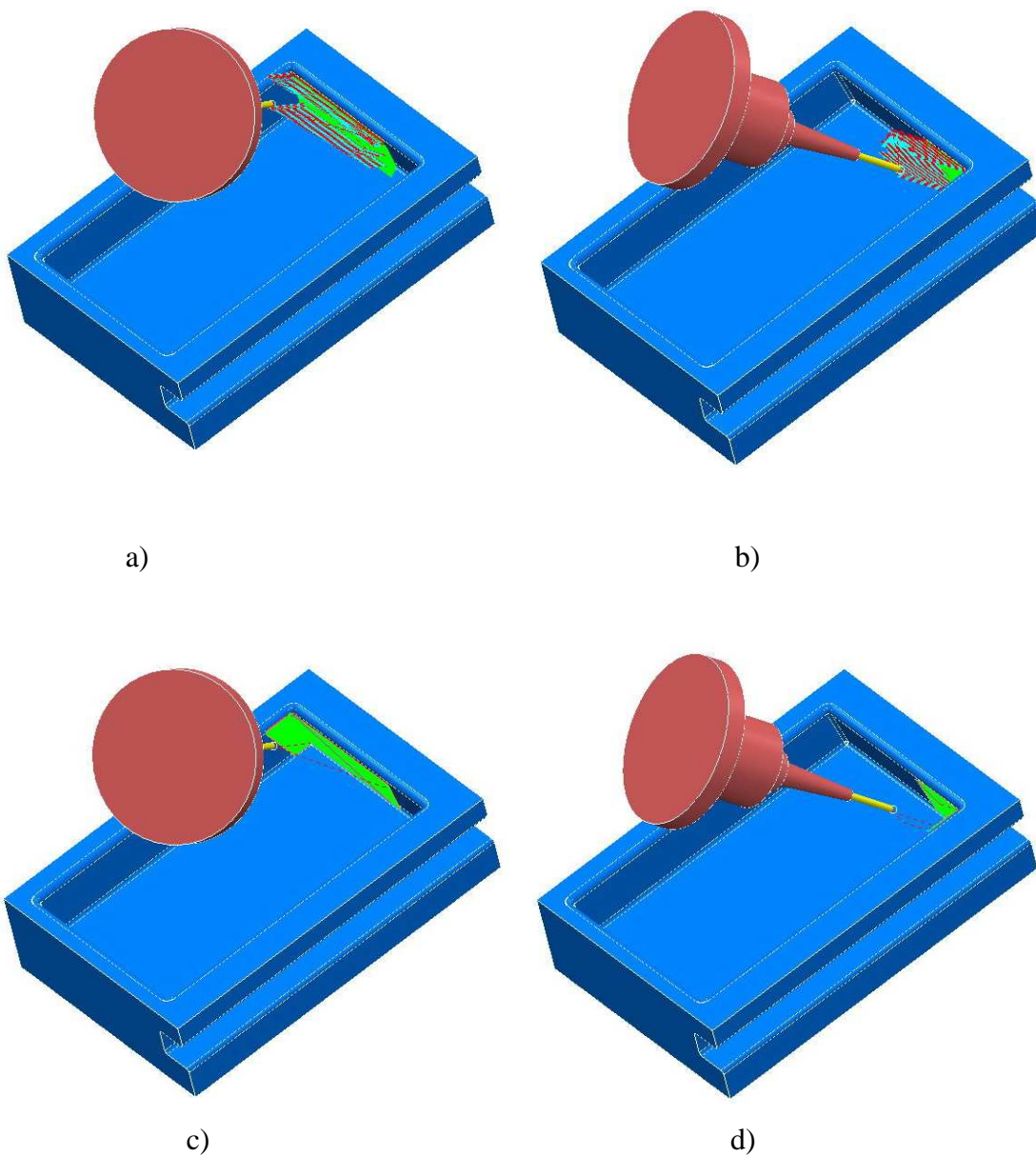
Po posunutí obráběné součásti na stůl došlo ke kolizi obráběcí hlavy s obrobkem, jak je znázorněno na obr. 33.



Obr. 33 Kolize obráběcí hlavy s obrobkem při obrábění podkosu v uzavřené části

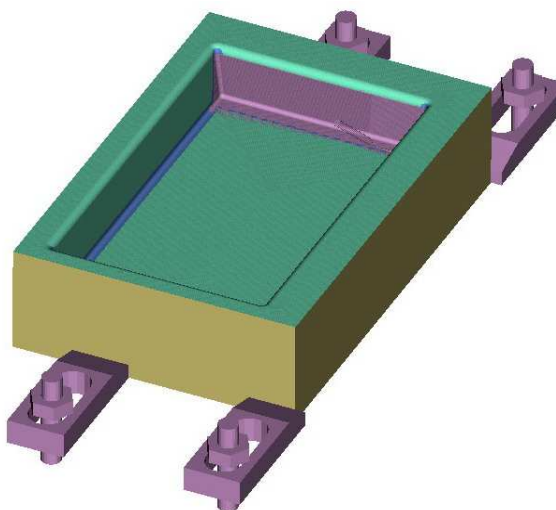


Kolize hlavy s obrobkem byla odstraněna menším vyklopením hlavy při obrábění podkosu. Dráhy pro obrobení této části modelu jsou na obr. 34. Model po obrobení podkosu v systému Vericut je na obr. 35.



Obr. 34 Dráhy pro obrobení podkosu v PowerMillu – a) a b) hrub, c) a d) dráhy načisto



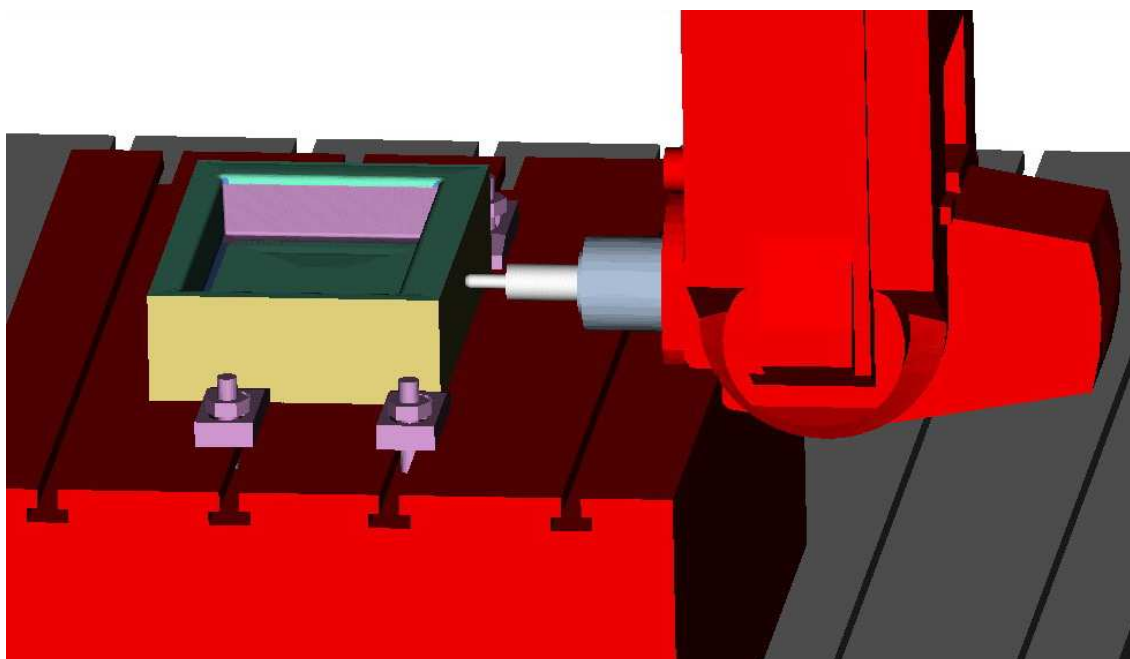


Obr. 35 Podkos obrobený ve Vericutu

### 3.2.2.3 5-ti osé obrábění boční drážky

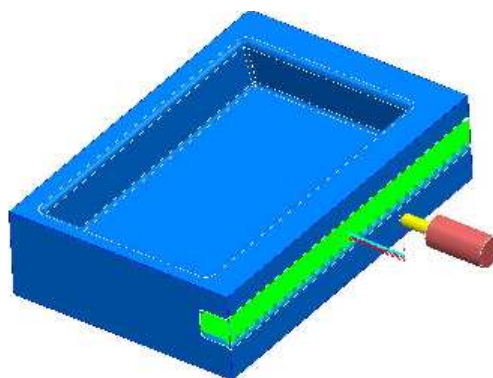
Boční drážka je v PowerMillu obrobena s offsetem -1mm. Je to z důvodu následné kontroly podřezání a nedořezání. Pro obrábění boční drážky byla zvolena fréza D20r10 –ID5 upevněná ve válcovém držáku o průměru 50mm a délce 100mm s vyložením 60mm. Šířka záběru frézy  $a_e = 1\text{mm}$ .

Při verifikaci drah pro obrábění této drážky došlo ke kolizi obráběcí hlavy a stolu, jak je znázorněno na obr. 36.

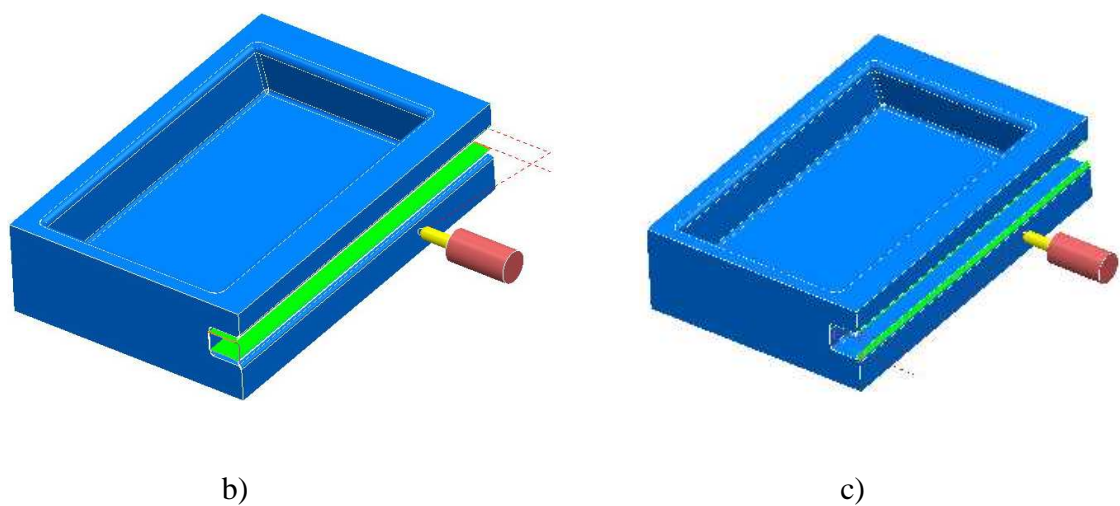


Obr. 36 Kolize obráběcí hlavy se stolem

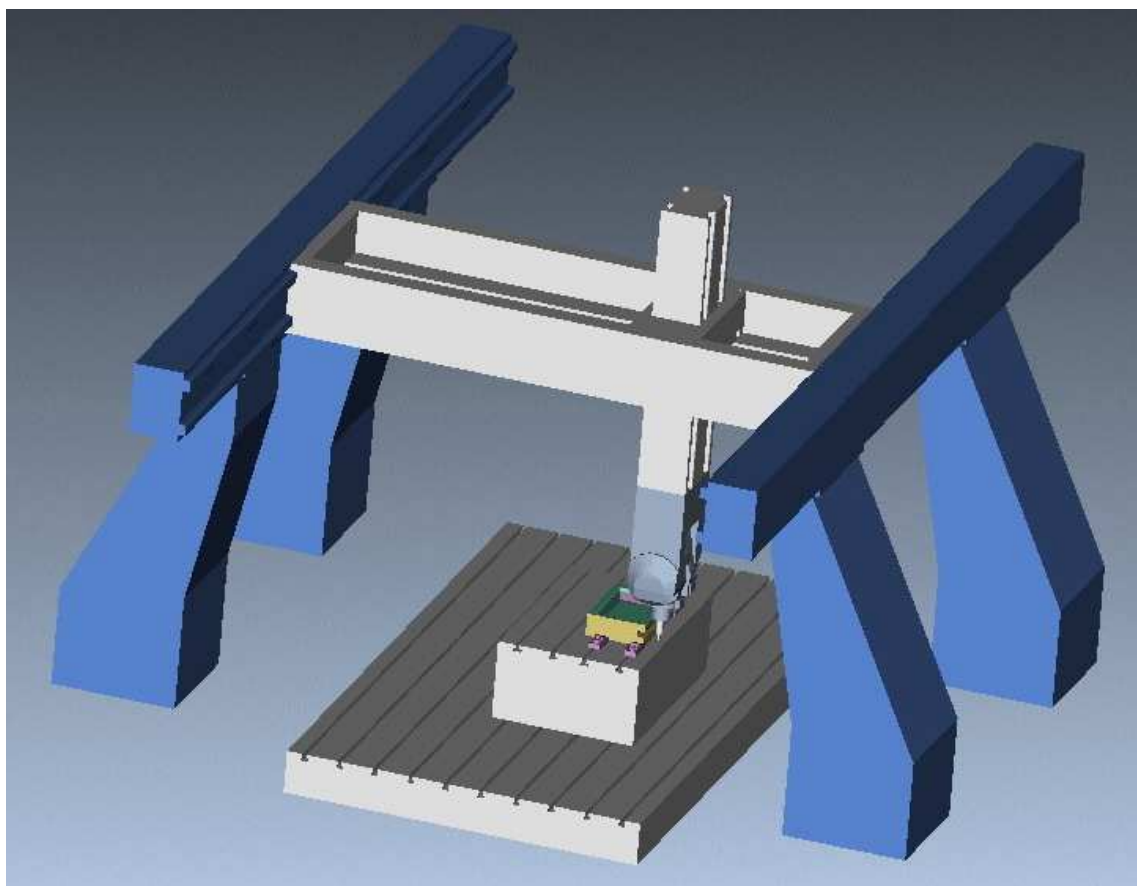
Řešením této kolize je posunutí obrobku na okraj stolu. S tímto posunutím je opět nutné změnit parametr Input Program Zero, který musíme zvětšit či zmenšit o hodnotu posunutí obrobku v jednotlivých osách. Na obr. 37 jsou znázorněny dráhy z PowerMillu pro obrobení boční drážky. Program obrábění drážky načisto je opět složen ze dvou drah nástroje, jelikož se plochy obrábějí různými strategiemi. Na obr. 38 je pak model kompletně obrobený ve Vericutu umístěn na stole tak, aby nedocházelo k žádným kolizím.



a)



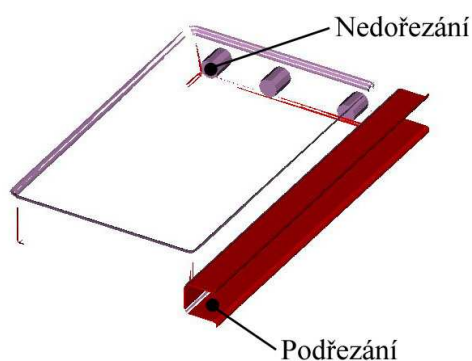
Obr. 37 Dráhy pro obrobění boční drážky v PowerMillu – a) hrub, b) načisto, c) načisto



Obr. 38 Obrobený model na stroji ve Vericutu po verifikaci všech programů

### 3.3 Kontrola podřezání a nedořezání

Při kontrole podřezání a nedořezání bylo využito offsetu -1mm při obrábění boční drážky, na kterém je znázorněna kontrola podřezání. Nedořezání je simulováno na třech kolíkových dírách na zadní ploše modelu. Na obr. 39 je zjištěné podřezání a nedořezání. Červeně je označen podřezaný materiál. V tomto případě jde o podřezání větší než 0,2mm. Fialovou barvou je pak označen materiál nedořezaný, s hodnotou nedořezání větší než 0,2mm.



Obr. 39 Zjištěné podřezání a nedořezání

## 4 Závěr

V úvodní části práce byl proveden rozbor současného stavu v oblasti víceosého obrábění a používání vhodných nástrojů, porovnání možností tříosého a víceosého programování.

Hlavní pozornost byla věnována analýze systému Vericut. Účelem této analýzy bylo získání důležitých a ucelených poznatků, které umožní vhodné a účelné využití tohoto systému.

V praktické části bylo snahou získané poznatky uplatnit a upravit systém Vericut pro praktické využití. Systém by měl být využíván především pro kontrolu kolizí a optimalizaci obrábění na stroji Rambda RAMSPEED H45L. Byl tedy vytvořen funkční model tohoto stroje a jeho řídicího systému a následně odzkoušen na fiktivním modelu. V praxi byl model stroje využit na verifikaci obráběcích programů na součásti, u kterých hrozila kolize obráběcí hlavy s obrobkem.

V další části je popsán postup přípravy výroby pro zvolenou součást vhodnou pro pětiosé obrábění. Pro tuto součást byly vygenerovány dráhy v CAM systému PowerMill a následně provedena verifikace těchto drah ve Vericutu. Verifikací se podařilo odhalit případné hrozící chyby, které nelze odhalit při kontrole kolizí v systému PowerMill.

Využití systému Vericut v praxi přináší řadu výhod. Kontrola kolizí pomáhá předejít kolizním stavům, které mohou nastat při CNC obrábění. Dále je možné optimalizací zkrátit čas potřebný k obrobení součásti. To vše vede i k úsporám ekonomickým. Nevýhodou tohoto softwaru je hardwarová náročnost – prodejci doporučují dvouprocesorový počítač s pamětí RAM alespoň 1GB. Výraznou nevýhodou Vericutu je časová náročnost výpočtu, která se nejvíce projeví při verifikaci rozměrných a tvarově složitých součástí.

## **Literatura**

- [1] Zelený, Jaromír: Výroba zápustek a forem. Speciál MM Průmyslové spektrum, Červen 2000, vol. 1, no. 1, p. 60-63
- [2] Vrabec, Martin: Datová komunikace mezi CAD a CAM softwarem. MM Průmyslové spektrum, Září 2002, vol. 6, no. 9, p. 106-107
- [3] Důležité aspekty vysokorychlostního obrábění. MM Průmyslové spektrum, Prosinec 2002, vol. 6, no. 12, p. 16-17

## **Zdroje na internetu**

[http://www.vericut.com/products\\_main.htm](http://www.vericut.com/products_main.htm)